

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A/Mira de Béjaïa
Faculté des Sciences Exactes
Département d'Informatique



Mémoire de fin d'études

En vue d'obtention du diplôme de Master en Informatique.

Spécialité : Administration et Sécurité des Réseaux informatiques et
Intelligence Artificielle.

Thème

Industrie 4.0 et Maintenance prédictive Cas d'étude : Cevital agro-industrie

Réalisé par :

Mlle. Maouche Liza et Mlle. Lakehal Nina .

Évalué le 04/07/2023 devant le jury composé de :

présidente	M. HOUHA Amel	U. A/Mira Béjaïa.
Examineur	M. KESSIRA Dalila	U. A/Mira Béjaïa.
Encadrant	Mr AKILAL Abdellah	U. A/Mira Béjaïa.

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

Pour commencer, nous remercions avant toute chose dieu le tout puissant de nous avoir donné la force, le courage et la patience pour réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur monsieur ABDELLAH AKILAL d'avoir accepté de nous encadrer et de nous avoir orienté durant l'élaboration de ce travail.

Un grand merci pour l'organisme d'accueil de " Cevital " et on tient particulièrement à adresser nos remerciements pour Monsieur RACHID BOUKIRAT et MENNAD SLIMANI pour toute l'aide qu'ils ont pu nous procuré, et pour la transmission de son savoir-faire qui nous a été d'une aide précieuse.

Nous adressons, également, à remercier les membres du jury qui nous font honneur par leurs présences en acceptant d'évaluer notre modeste travail

Liza & Nina

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents en témoignage de ma profonde affection, qui ont été souvent à mes côtés et le grand mérite revient à eux, ils m'ont ouvert les yeux et sans eux je ne serai jamais arrivé jusque-là

A mes deux chers frères

Fouad, Juba.

A ma sœur

Roumila.

A ma belle sœur

Ahlan,

A mon adorable neveu

Racim,

A mes trésors nièces

Dyna, Maylis,

A tous mes amis et camarades

A ceux et celles QUI ont contribué de près ou de loin à la réalisation
de ce travail.

A toute la famille MAOUCHE.

MAOUCHE LIZA

DEDICACE

Je dédie le fruit de mes 17ans d'études aux meilleurs parents du monde Hamid Et Sadia.

À ma sœur

Cynthia

Et mon frère

Anis

À tous mes proches et mes amis qui se reconnaîtront .

À la famille LAKEHAL et OUCHABANE Pour leur amour, leur confiance, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel qui m'a permis de réaliser les études pour lesquelles je me destine et par conséquent ce mémoire.

LAKEHAL NINA

Résumé

L'industrie 4.0 et la maintenance prédictive sont des composantes essentielles de la technologie de pointe et de la production industrielle. L'industrie 4.0 intègre des innovations numériques révolutionnaires dans les processus de fabrication, permettant aux machines et aux systèmes de communiquer entre eux et avec leurs superviseurs. La maintenance prédictive utilise des capteurs et des analyses pour détecter les pannes potentielles avant qu'elles ne se produisent réellement, réduisant ainsi les temps d'arrêt imprévus et les coûts de réparation. À l'aide du simulateur CISCO Packet Tracer, une nouvelle architecture réseau qui prend en considération les lots et les principes de base de l'industrie 4.0 a été établie en utilisant internet des objets (Ido). Et On a établi aussi une solution intelligente pour la prédiction des pannes.

Mots-clés : Industrie 4.0, Internet des objets (IdO), maintenance prédictive, CISCO Packet Tracer.

Abstract

Industry 4.0 and predictive maintenance are essential components of advanced technology and industrial production. Industry 4.0 incorporates breakthrough digital innovations into manufacturing processes, allowing machines and systems to communicate with each other and with their supervisors. Predictive maintenance uses sensors and analytics to detect potential failures before they actually happen, reducing unplanned downtime and repair costs. Using the CISCO Packet Tracer simulator, a new network architecture that takes into consideration the batches and the basic principles of Industry 4.0 has been established using the Internet of Things (IoT). And We also established an intelligent solution for the prediction of breakdowns.

Key words : Industry 4.0, Internet of things (IoT), predictive maintenance, CISCO Packet Tracer.

Liste Des Abréviations

Virtual **AFNOR** Association française de normalisation
API Application programming interface
ARIMA Auto Regressive Integrated Moving Average
ASCOS Analysis of Smoke Control Systems (program)
ASI Actuators Sensors Interface, interface actionneurs capteurs
BIM Building Information Modeling / Modélisation des informations du bâtiment
CAN Controller Area Network
CLI Command Line Interface. **Colab** Colaboratory
Déb Début
DHCP Dynamic Host Configuration Protocol.
DMZ Demilitarized Zone.
DSI Direction des Systèmes d'Information
GMAO Gestion de maintenance assistée par ordinateur
Hrs.Réal. heures de réalisation
IA Intelligence Artificielle
IdO Internet Des Objets
IEC International Electrotechnical Commission
IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
IFC Industry Foundation Classes
IIOT Industrial Internet Of Things
Interv intervention
IoT Internet Of Things
IP Internet Protocol
ISO International Organization for Standardization
LAN Local Area Network.
LSTM Long Short-Term Memory
MAE Modèle automatisé d'évaluation
MGX Modèle de Gestion des Exigences
ML Machine Learning
N°OT numéro d'ordre de travail
NF Norme Française
OPC UA Open Platform Communications Unified Architecture
OSI Open System Interconnection.
PCS Systèmes cyber-physiques
RA Réalité Augmentée
RMSE Ecart quadratique moyen
RNN Réseau de Neurones récurrents
RV Réalité Virtuelle

SSID Service Set Identifier
SVM Support Vector Machine
VDE Verband Deutscher Elektrotechniker / Association of German Electrical Engineers
VDI Virtual Device Interface
VLAN Virtual Local Area Network.
VTP VLAN Trunking Protocol.
WAN Wide Area Network
WLAN Wireless Local Area Network

Table des matières

Remerciements	i
DEDICACE	ii
Résumé	iv
Liste Des Abréviations	v
Introduction	1
1 Présentation de l'entreprise d'accueil	3
1.1 Introduction	4
1.2 Entreprise et Historique	4
1.3 Infrastructure de l'Entreprise	5
1.4 Aspect économique	5
1.5 Service maintenance	6
1.5.1 Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)	7
1.6 Architecture du Réseaux de CEVITAL	7
1.6.1 Réseaux informatiques	7
1.6.2 Composantes du réseau :	7
1.6.3 Matériels utilisé dans l'architecture :	7
1.7 Reseaux industriel :	9
1.8 Discussion	9
1.9 Conclusion	10
2 Industrie 4.0	11
2.1 Introduction	12
2.2 Historique	12
2.3 Definition	13
2.4 Implementation	15
2.5 Standards et Normes	15
2.6 Aspect Economique	16
2.6.1 Avantages	16
2.6.2 Inconvénients	16
2.7 Conclusion	16
3 Projet d'évolution vers L'industrie 4.0 (cas CEVITAL)	17
3.1 Introduction	18
3.2 Principes de conception de l'industrie 4.0	18

3.2.1	Avantages et inconvénients	19
3.3	Plan stratégique de CEVITAL pour l'implémentation de l'industrie 4.0	20
3.3.1	Analyse des besoins	20
3.3.2	Élaboration d'un plan de mise en œuvre	20
3.3.3	Mise en place de la technologie	20
3.3.4	Formation et développement des compétences	22
3.3.5	Surveillance et évaluation	22
3.4	Conclusion	22
4	Maintenance Prédicative	23
4.1	Introduction	24
4.2	Définition de la maintenance	24
4.3	Types de maintenance	24
4.3.1	Maintenance corrective ou réactive	24
4.3.2	Préventive	25
4.4	Niveaux de la maintenance	27
4.5	Les avantages et les inconvénients	28
4.6	Conclusion	30
5	Analyse prédictive	31
5.1	Introduction	32
5.2	Analyse de données	32
5.3	Types d'analyse de données	32
5.4	Analyse prédictive	32
5.5	Étapes clés de l'analyse prédictive	33
5.6	Type de modèles d'analyse prédictive	33
5.7	Domaine d'utilisation de l'analyse prédictive	34
5.8	Application de l'analyse prédictive (cas CEVITAL)	34
5.9	Conclusion	35
6	Pannes et Historique	36
6.1	Introduction	37
6.2	Définition	37
6.3	Type de pannes chez CEVITAL	37
6.3.1	Mécanique :	37
6.3.2	Electrique	37
6.3.3	Automatique	38
6.3.4	Instrumental	38
6.3.5	Hydraulique	38
6.3.6	Pneumatique	38
6.4	Historique des pannes de CEVITAL	39
6.5	Conclusion	41
7	RÉALISATION et SIMULATION	42
7.1	Introduction	44
7.2	Présentation du simulateur Cisco packet Tracer 8.2.1	44

I	SIMULATION DE RESEAUX LOCAL DE CEVITAL	45
7.3	Architecture du réseau CEVITAL	46
7.4	Nomination des VLANs	46
7.5	Plan d'adressage	46
7.6	Interface commande de Packet Tracer	47
7.7	Configuration des équipements	47
7.7.1	Configuration du Hostname	48
7.7.2	Sécuriser l'accès aux périphériques	48
7.7.3	Configuration du protocole VTP	48
7.7.4	Création des VLANs	49
7.7.5	Configuration des liens trunk	50
7.7.6	Attribution des ports de commutateurs au VLANs	50
7.7.7	Configuration du DHCP	51
7.8	Vérification et tests de validation	52
7.8.1	Vérification	52
7.8.2	Contrôle de la bonne configuration du protocole VTP	52
7.9	Contrôle des réseaux locaux virtuels créés sur le switch server s'ils ont bien été distribués sur les switchs clients	53
7.10	Vérification routage inter VLAN	54
7.11	Vérification IP et DHCP	54
7.12	Test de validation	55
7.13	Vérification de la communication entre les équipements d'interconnexion	55
7.14	Vérification VLAN	56
II	INTEGRATION ET SIMULATION DE L' IOT DANS LE RESEAUX LOCAL DE CEVITAL	58
7.15	Présentation de notre projet sur Packet Tracer :	59
7.16	Simulation :	59
7.16.1	Scénario 1 :configuration des ports extérieur et intérieur de CEVITAL en utilisant les sirène et détecteur de mouvement et de la webcam	59
7.16.2	Scénario 2 : configuration du système de détection de CO2	70
7.16.3	Scénario 3 : Système de détection de fumée	73
7.16.4	Sénario 4 :Schéma global du contrôle à distance de l'architecture	75
7.17	Dispositifs utilisés pour la conception	78
7.17.1	Test de connexion	78
7.18	Conclusion :	79
8	RÉALISATION et SIMULATION	80
8.1	Introduction	81
8.2	Python	81
8.3	Google Colaboratory (colab)	81
8.4	Discutions	95
8.5	Conclusion	96
	Conclusion	97
	Annexes	98
8.6	Annexe 1 : Matériels utilisé dans l'architecture de CEVITAL	98

8.7	Annexe 2 : Type de réseaux industrielle utiliser dans cevital	101
8.8	Annexe 3 :Les révolutions industrielles	102
8.9	Annexe 4 : Technologies clés de l'industrie 4.0	104

Table des figures

1.1	Localisation du complexe Bejaia [2].	4
1.2	Organigramme de CEVITAL[1].	5
1.3	Organigramme de la DSI de CEVITAL[3].	6
1.4	Connexion inter sites du groupe CEVITAL[1]	8
1.5	Architecture réseaux de CEVITAL[43].	8
1.6	Distributeur	9
2.1	Les technologies clés de l'industrie 4.0[54].	12
2.2	Révolutions industrie[5].	13
2.3	les technologies clé de l'industrie 4.0	14
3.1	Principes de Conception de L'industrie 4.0[47].	18
3.2	Plan d'adoption de l'industrie 4.0 (cas cevital).	20
4.1	Courbe representant le moment ou la maintenance ce declanche en fonction de la gravité du dommage[16].	24
4.2	Maintenance réactive[18].	25
4.3	Maintenance préventive systématique[20].	26
4.4	Maintenance préventive conditionnelle	26
4.5	Maintenance prédictive[21].	27
4.6	Comparaison entre les différents types de maintenance[24].	30
5.1	Types d'analyse de données	32
5.2	Les 6 Etapes de l'Analyse prédictive[52]	33
5.3	Checklist des étapes d'analyse prédictive appliquées au cas CEVITAL	34
6.1	: Exemple de panne mécanique (Capture du Dataset)	37
6.2	Exemple de panne Electrique (Capture du Dataset)	37
6.3	Exemple de panne automatique (Capture du Dataset)	38
6.4	Exemple de panne instrumentale (Capture du Dataset)	38
6.5	Exemple de panne hydraulique (Capture du Dataset)	38
6.6	Exemple de panne pneumatique (Capture du Dataset)	39
6.7	capture des noms de colonnes du Dataset	39
7.1	Capture de simulateur Cisco Packet Tracer 8.2.1	44
7.2	Modèle d'architecture réseau Cevital.	46
7.3	Interface CLI	47
7.4	Exemple de nomination switch-core sw-core	48
7.5	configuration des mots passe	48
7.6	Configuration VTP-Serveur	48

7.7	Configuration du VTP-Client	49
7.8	Création des VLANs sur le serveur VTP(vlan5;vlan6)	50
7.9	Configuration des liens trunk	50
7.10	Attribution des ports au VLANs	50
7.11	Routage inter VLAN	51
7.12	Configuration du DHCP	51
7.13	Configuration du DHCP sur les PC	52
7.14	Test VTP server	53
7.15	Test VTP client	53
7.16	VLANs distribués sur le switch0 Client	54
7.17	Attribution des adresses IP sur les VLANs	54
7.18	Attribution des adresses IP sur le serveur DHCP	55
7.19	test entre le switch multilayer et le switch d'accès	56
7.20	Test entre PC VLANs différents.	57
7.21	Test entre PC de VLAN et commutateur distincts	57
7.22	vue l'ensemble de connexion de l'architecture	59
7.23	configuration des ports extérieur et interne de CEVITAL	59
7.24	configuration de la passerelle	60
7.25	introduire l'adresse IP du LAN et le masque sous réseau 'a la passerelle	61
7.26	Configuration de TabletPC-PT	62
7.27	Authentification	63
7.28	S'électionner la carte Wifi pour la connexion sans fil du d détecteur de mouvement	64
7.29	Connexion du d détecteur de mouvement au réseau sans fil de la passerelle et activation du DHCP	64
7.30	S'électionner la carte Wifi pour la connexion sans fil de la webcam	65
7.31	Connexion de la webcam au réseau sans fil de la passerelle et activation du DHCP	66
7.32	S'électionner la carte Wifi pour la connexion sans fil de la Siren	67
7.33	Connexion de la Siren au réseau sans fil de la passerelle et activation du DHCP	68
7.34	69
7.35	configuration d'interface fa/06	70
7.36	Eléments pour le système de détection de CO2.	71
7.37	Conditions de fonctionnement	72
7.38	Eléments d'un système de détection de fumée	74
7.39	Conditions de fonctionnement	74
7.40	Fonctionnement du système de détection d'incendie	75
7.41	Shéma globale	75
7.42	Conditions de fonctionnement de tous les objets	76
7.43	Objets connectés dans Tablet PC0	77
7.44	test de connexion	78
8.1	Logo python	81
8.2	Logo de Google Colab	82
8.3	Page d'accueil Colab	82
8.4	Création de notebook	83
8.5	Invite de commande colab	83
8.6	Icone d'importation de fichier	83
8.7	Aperçu de l'historique des pannes de pompe	84
8.8	Bibliothèques utilisées	84

8.9	Importation et traitement du jeu de données	86
8.10	Aperçu du jeu de donnée après modification	86
8.11	Code calculant le nombre de pannes par mois pour toutes les années	87
8.12	Nombre de pannes réel par mois	87
8.13	Nombre de pannes réel par mois (2022)	87
8.14	Données de test et d'entraînement	87
8.15	Séparation des caractéristiques de la variable de la variable cible	88
8.16	Régression linéaire	88
8.17	Résultat de l'algorithme de régression linéaire	88
8.18	Modèle de régression linéaire	89
8.19	Régression polynomiale	89
8.20	Affichage régression polynomiale	89
8.21	Modèle de régression polynomiale	90
8.22	Ajustement et création du modèle foret aléatoire	90
8.23	Meilleure paramètre pour l'algorithme forets aléatoires	91
8.24	Forets aléatoires	91
8.25	Affichage prédiction forets aléatoire	91
8.26	91
8.27	Modèle de forets aléatoire	92
8.28	ARIMA	92
8.29	Affichage prédiction ARIMA	93
8.30	Modèle ARIMA (Moyennes Mobiles Intégrées Autorégressives)	93
8.31	Préparation RNN	94
8.32	RNN	94
8.33	Affichage résultats RNN	95
8.34	Modèle RNN (Réseau de Neurones Récurrents)	95
8.35	Switch Cisco Catalyst 2950[34].	98
8.36	Pare feu Palo Alto 3020[34].	99
8.37	Les révolutions industrielles[51].	102
8.38	Sécurité des données en Cloud Computing[51].	104
8.39	Réalité Mixte.[51].	104
8.40	Internet Of Things[51].	105
8.41	Domaines de IA[51].	105
8.42	Atomic Diffusion Additive Manufacturing[51].	106
8.43	Robots Collaboratifs[51].	106
8.44	Cybersécurité	107
8.45	vision sur CEVITAL	107
8.46	tableaux de bord	108
8.47	OT correctif	108
8.48	OT préventif	108

Liste des tableaux

4.1	Niveaux de la Maintenance selon AFNOR[22].	28
4.2	Avantages et inconvénients des types de maintenance[23].	29
7.1	Nomination des VLANs de l'entreprise.	46
7.2	Plan d'adressage des VLANs	47
7.3	Dispositifs utilisés dans la conception	78

Introduction

L'industrie 4.0 et la maintenance prédictive sont les composantes essentielles de la technologie de pointe et de la production industrielle. La quatrième révolution industrielle se caractérise par l'intégration d'innovations numériques révolutionnaires dans les processus de fabrication. D'autre part, la maintenance prédictive se connecte aux données et aux analyses pour détecter les pannes potentielles avant qu'elles ne se produisent réellement.

L'industrie 4.0 change la donne. Ses technologies révolutionnaires telles que l'Internet des objets, l'IA, la robotique et le cloud computing permettent aux usines de collaborer plus efficacement, en fournissant des résultats en temps réel. Grâce à cette nouvelle vague d'innovation, les machines et les systèmes peuvent communiquer entre eux et avec leurs superviseurs, ouvrant la voie à de meilleurs processus décisionnels basés sur les données.

Dans ce contexte, la maintenance prédictive joue un rôle essentiel. Plutôt que de s'appuyer sur des calendriers de maintenance préplanifiés ou des réparations après panne, la maintenance prédictive utilise des capteurs et des analyses pour surveiller en permanence l'état de l'équipement et prévoir les pannes potentielles. Cela permet aux entreprises de planifier et d'exécuter les travaux de maintenance au moment le plus opportun, réduisant ainsi les temps d'arrêt imprévus, les coûts de réparation et les interruptions de production.

La combinaison de l'industrie 4.0 et de la maintenance prédictive apporte d'énormes avantages aux entreprises. Il optimise l'efficacité opérationnelle, améliore la qualité des produits, réduit les coûts de maintenance et prolonge la durée de vie des équipements. De plus, la maintenance prédictive aide à la transition vers des modèles de maintenance basés sur la performance et des méthodes de production industrielle plus durables en évitant les interventions de maintenance inutiles et en réduisant l'impact environnemental.

Cependant, la mise en œuvre réussie de l'industrie 4.0 et de la maintenance prédictive pose également des défis. Les entreprises doivent investir dans l'acquisition de nouvelles technologies, former les employés aux compétences dont ils ont besoin et assurer la sécurité et la confidentialité des données recueillies.

Pour cela, il nous a été confié par les responsables de CEVITAL le travail qui consiste à explorer en détail les concepts clés de l'industrie 4.0 et de la maintenance prédictive, ainsi que leurs avantages et défis associés, et des perspectives futures de l'industrie et de la manière dont elles continueront à façonner le paysage

de la production industrielle.

Afin d'atteindre l'objectif sollicité, nous avons divisé notre mémoire en huit chapitres :

- Le premier chapitre sera consacré à la description de l'environnement de notre Travail, en outre, notre organisme d'accueil qui est l'Entreprise CEVITAL de Bejaia, Plus particulièrement la direction de système d'information et nous nous étalerons sur L'étude de son réseau informatique et industrielle.
- Le deuxième chapitre portera sur la présentation d'industrie 4 .0, son historique d'évolution et on présentera les technologie clé et quelque standard et norme d'industrie 4.0.
- Au cours du troisième chapitre, nous allons discuter avec CEVITAL sur les plans stratégie de l'implémentation de l'industrie 4.0.
- Dans le quatrième chapitre, nous explorerons en détail l'importance de la maintenance, ses types et leurs avantages et inconvénients.
- Dans le cinquième chapitre nous allons parler de l'analyse de donnée et ses types, puis nous allons nous intéresser à l'analyse prédictive en citant ses étapes, ses modèles et ses différents domaines d'utilisation.
- Le sixième chapitre sera consacrer au pannes et leur différentes types courants chez CEVITAL et de l'historique de pannes .
- Ensuite, dans le septième Chapitre nous présenterons la solution mise en place avec l'explication de la configuration des différents protocoles et des objets intelligents, ainsi les tests de validation pour nous assurer que notre objectif a bien été atteint.
- Enfin, le huitième chapitre va être consacrée à la réalisation de la prédiction des pannes.

Ce travail que nous avons mené se clôture par une conclusion générale.

Chapitre 1

Présentation de l'entreprise d'accueil

Sommaire

1.1	Introduction	4
1.2	Entreprise et Historique	4
1.3	Infrastructure de l'Entreprise	5
1.4	Aspect économique	5
1.5	Service maintenance	6
1.5.1	Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)	7
1.6	Architecture du Réseaux de CEVITAL	7
1.6.1	Réseaux informatiques	7
1.6.2	Composantes du réseau :	7
1.6.3	Matériels utilisé dans l'architecture :	7
1.7	Reseaux industriel :	9
1.8	Discussion	9
1.9	Conclusion	10

1.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons présenter la société CEVITAL, en citant les différentes divisions qui la composent, et la naissance de cette société. Nous présenterons brièvement l'entreprise pour mieux comprendre sa structure et ses objectifs. Puis nous allons Enquêtez sur l'état actuel du réseau de l'entreprise et de ses composants, répertoriez les lacunes, puis proposez des solutions pour remédier à toute anomalie détectée.

1.2 Entreprise et Historique

Dès l'entrée de l'Algérie dans l'économie de marché, on note CEVITAL parmi les premières entreprises algériennes qui ont vu le jour. Elle a été fondée en mai 1998 par l'entrepreneur Isaad Rebrab grâce à des fonds privés[1].

CEVITAL Agroalimentaire propose les produits suivants : huiles, margarines et sucres. Voici un aperçu de l'historique de cette industrie :

- **1998** : Création de CEVITAL Agro-industrie
- **1999** : Entrée en production de la raffinerie d'huile
- **2003** : Entrée en production de la raffinerie de sucre
- **2005** : Acquisition de LALLA KHEDIDJA
- **2006** : Acquisition de COJEK
- **2007** : Création de MFG (VERRE PLAT)
- **2008** : Création de NUMILOG
- **2013** : Acquisition de OXXO[1]

Le complexe de production se trouve dans l'enceinte portuaire de Bejaia, étendue sur une superficie de 45000m² en incluant un terrain récupéré d'une décharge publique sur le quel est implantée la plus grande partie de ses installations. Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, il est situé au sud du port, délimité par l'accès au port et la clôture de ce dernier d'un côté ainsi que la route nationale N°9 de l'autre.

Voici une image qui illustre cet emplacement :



FIG. 1.1 – Localisation du complexe Bejaia [2].

1.3 Infrastructure de l'Entreprise

Créée en 1998 et implantée au sein du port de Bejaïa, Cevital Agro-industrie dispose de plusieurs unités de production ultra modernes :

- 2 raffineries de sucre.
- 1 unité de sucre liquide.
- 1 raffineries d'huile.
- 1 margarinerie
- 1 unité de conditionnement d'eau minérale (se situe à Tizi Ouzou).
- 1 unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes (site EL- Kseur).
- 1 conserverie.

La possession de plusieurs silos portuaires ainsi que celle d'un terminal de déchargement d'une capacité de 2000 tonnes/heure fait de CEVITAL le premier terminal de déchargement portuaire en Méditerranée[1].

1.4 Aspect économique

Etant le 1^{er} groupe privé en Algérie et le leader du secteur agroalimentaire en Afrique, cette industrie compte à son actif 26 filiales éparpillées sur 3 continents et emploie plus de 18000 salariés. Actuellement ce groupe réalise un chiffre d'affaires de 4 milliards de dollars (\$) ayant comme objectif d'atteindre les 25 milliards de dollars d'ici 2025.

Voici Ci-Dessous l'organigramme du groupe[3] :

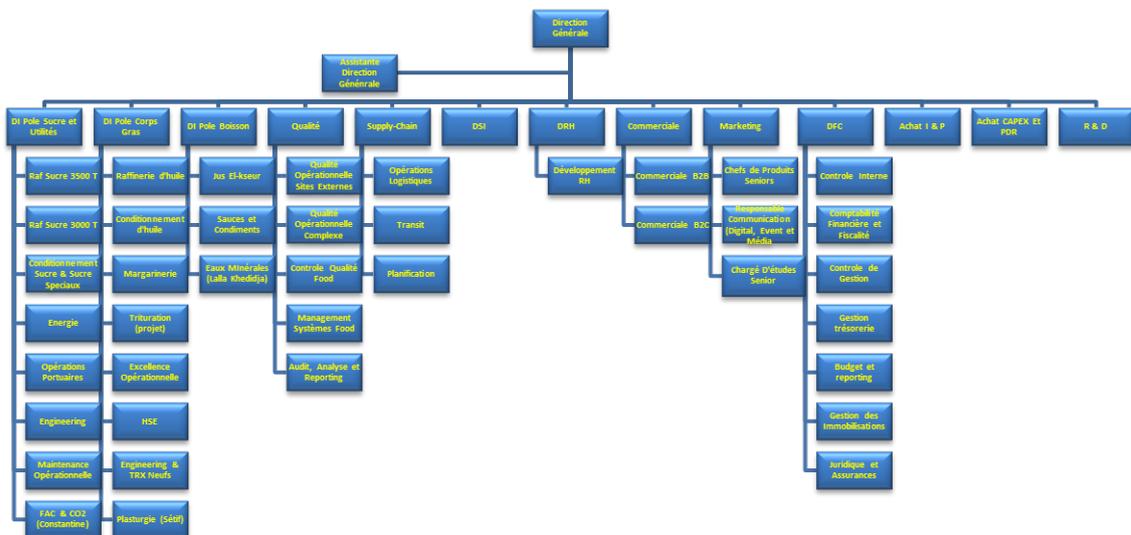


FIG. 1.2 – Organigramme de CEVITAL[1].

Nous avons effectué un stage au sein de la Direction des Technologies de la Direction des Systèmes d'Information (DSI), qui assure la mise en place des outils et technologies de l'information nécessaires au support et à l'amélioration des activités, de la stratégie et de la performance de l'entreprise.

L'entreprise doit donc s'assurer de la cohérence de la mise à disposition des moyens informatiques et de communication aux utilisateurs, de leurs évolutions, Leur maîtrise technique et leur disponibilité et opérabilité permanentes et celles qui sont totalement sécurisées. Il identifie également les changements nécessaires dans le cadre d'un plan pluriannuel, en fonction de ses objectifs et des nouvelles technologies.

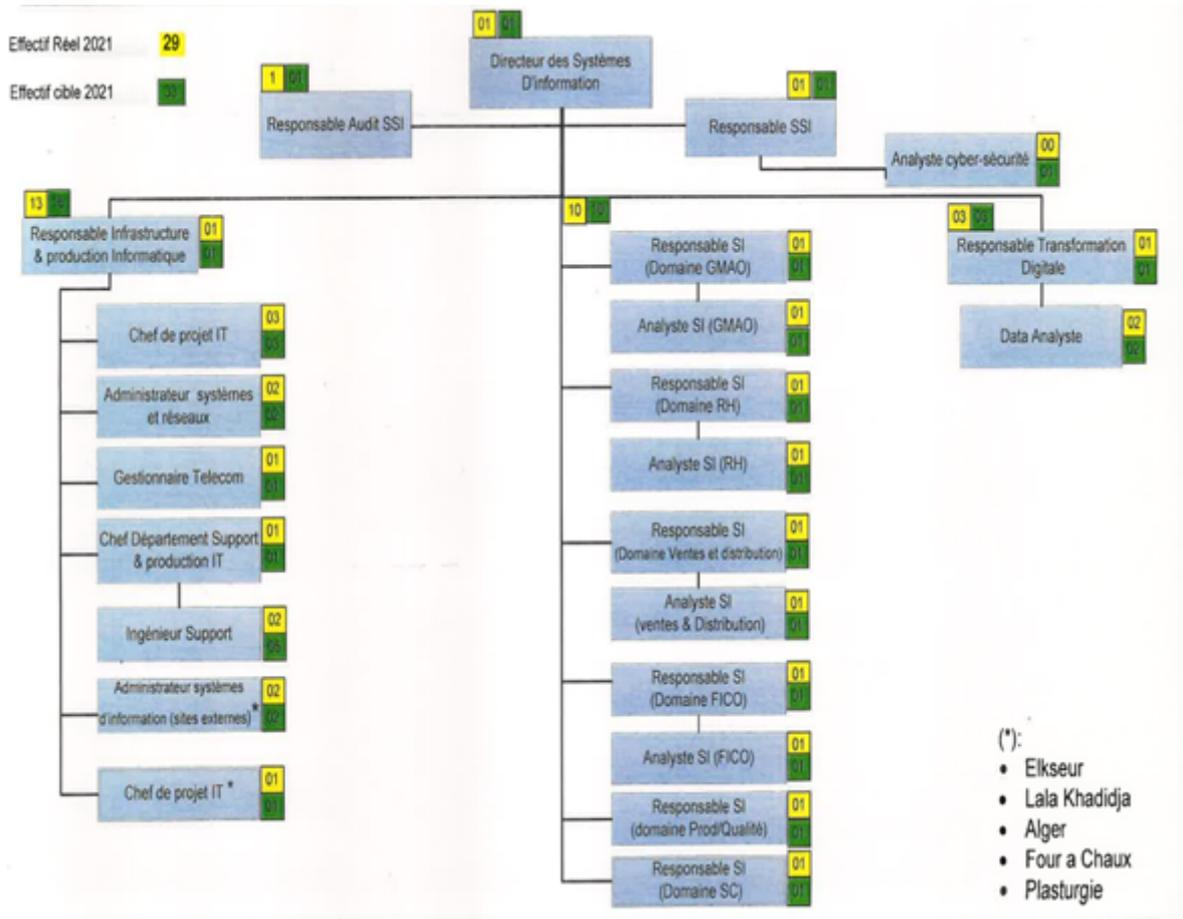


FIG. 1.3 – Organigramme de la DSI de CEVITAL[3].

1.5 Service maintenance

Chaque unité dispose soit d'un service ralliant maintenance et méthode, soit de deux services indépendants l'un de maintenance et l'autre de méthode. Leur travail consiste à faire :

1. Planification des pannes, prévention, etc.
2. Analyse et diagnostic des pannes.
3. Fiabilité des informations.
4. Gérer et suivre l'imprévisibilité des pièces de rechange, et les présentations de maintenance.

Il y a aussi la section maintenance, qui est responsable de l'organisation du travail sur le chantier, de l'exécution des tâches et des réparations. Un responsable de maintenance gère son équipe, il planifie les travaux.

Pour gérer son équipe, et planifier les travaux, le responsable utilise un système de gestion appelé GMAO :

1.5.1 Gestion de la Maintenance Assistée par Ordinateur (GMAO)

Une GMAO est un mode de gestion assistée par un logiciel utilisé dans les services de maintenance des entreprises pour les aider à mener à bien leurs activités. Il existe une base de données (logiciel) appelée COSWIN 8i, que CEVITAL utilise depuis 2007. Une GMAO fournit un ensemble de modules représentant chacun un concept de gestion de la maintenance. Dans ce qui suit, nous allons décrire les fonctionnalités de chaque module :

- **Module maintenance** : module regroupe toutes les fonctions directement liées à la maintenance, comme :
 1. Tableau d'équipement
 2. Ressources (employés, superviseurs...etc.)
 3. Calendrier
 4. Travail en cours
 5. Histoire
- **Module stock** : Le propriétaire du magasin dispose de tous les moyens nécessaires pour gérer le stock de pièces détachées, parmi ses fonctionnalités :
 1. Intégrer de nouveaux articles
 2. Dans et hors des pièces
 3. Définir les seuils min-max pour le réapprovisionnement automatique.
- **Module achat** : Permet de faire des demandes d'achat de pièces ou de services. Ces demandes sont ensuite traitées et transformées aux services concernés[43].

1.6 Architecture du Réseaux de CEVITAL

L'architecture des réseaux informatiques et industriels de CEVITAL repose sur une infrastructure solide et évolutive, conçue pour répondre aux besoins spécifiques de chaque secteur d'activité de l'entreprise.

1.6.1 Réseaux informatiques

CEVITAL dispose d'un réseau interne assez étendu, lui permettant de connecter différents bâtiments, d'unités de production et de complexes (voir figure 5). Nous pouvons le décomposer en Plusieurs parties : backbone réseau, pare-feu et DMZ (zone démilitarisée), WIFI, routeurs et centres de données (où se trouvent les serveurs de l'entreprise)[3].

1.6.2 Composantes du réseau :

Le réseau de CEVITAL est composé de plusieurs éléments essentiels qui travaillent ensemble pour assurer une connectivité fluide et fiable.

1.6.3 Matériels utilisé dans l'architecture :

Le réseau actuel de CEVITAL se compose de 774 stations interconnectées, dont la plupart sont cascades par 38 commutateurs et un routeur[1].

1.6.3.1 Architectures WAN :

Afin d'assurer le partage des ressources de l'entreprise et la communication interne, CEVITAL a créé des liens pouvant relier le site Bejaïa aux différentes filiales de l'entreprise, telles que :

- Liaison fibre point à point entre Béjaïa et Alger.
- Liaisons satellites (Vsat) entre Bejaïa et EL Kseur (Cojek), Tizi-Ouzou (Lala Khadija) et El Khroub.

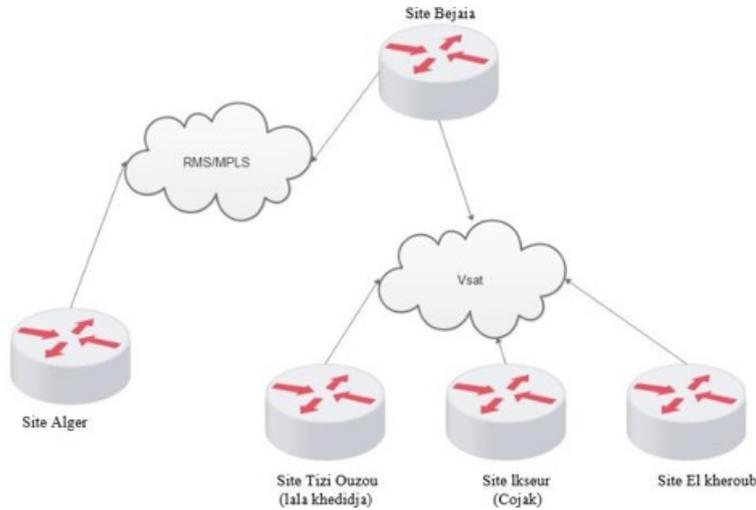


FIG. 1.4 – Connexion inter sites du groupe CEVITAL[1]

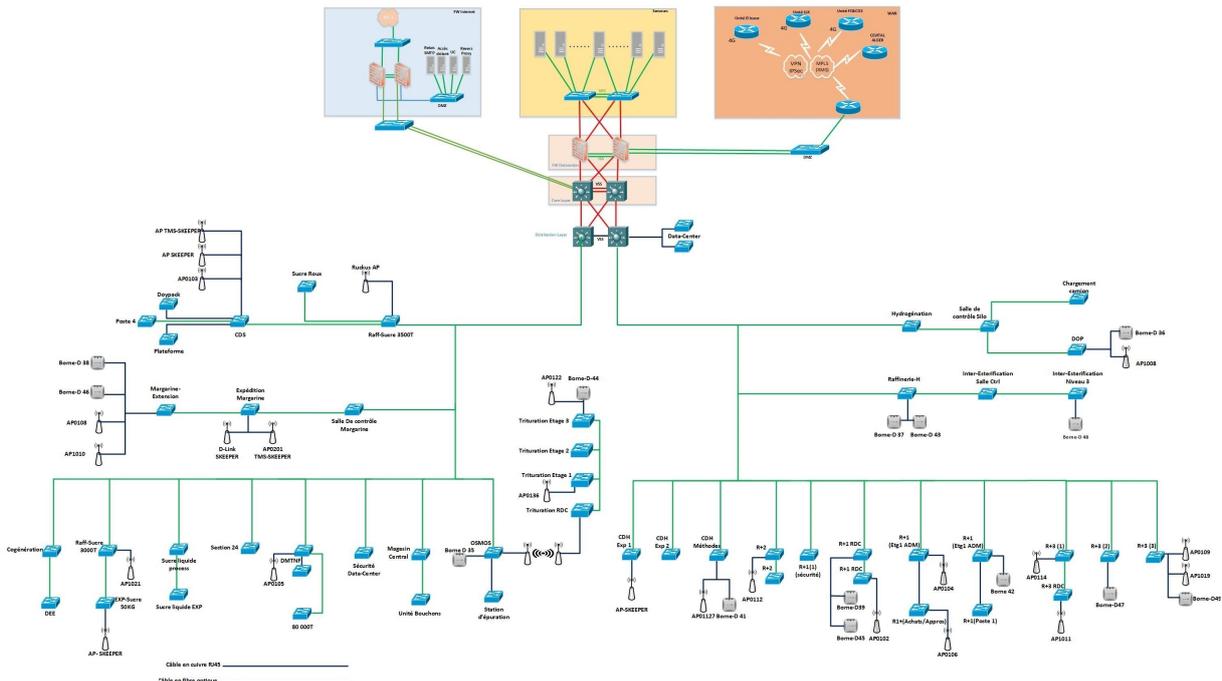


FIG. 1.5 – Architecture réseaux de CEVITAL[43].
(Voir annexes)

1.6.3.2 Distributeur (Backbone) Cisco Catalyst 4507R :

C'est un élément central du réseau. Il prend en charge le trafic de données du réseau complexe avec une bande passante extrêmement élevée. Les commutateurs d'accès, les pare-feu, les serveurs et les routeurs de l'entreprise y sont tous connectés. Il est responsable du routage inter-vlan.



FIG. 1.6 – Distributeur

Le réseau de CEVITAL comprend également d'autres éléments importants qui contribuent à son bon fonctionnement :

- Switch d'accès : Cisco Catalyst 2960 et 2950.
- Switch en cascade : Cisco Catalyst 2950 et 2960.
- Routeur : Cisco 2900.
- Pare feu.
- Point d'accès WIFI.
- Serveur.
- Data center[4]. (Voir annexes)

1.7 Reseaux industriel :

Un réseau industriel Est un système de communication entre plusieurs équipements de type industriel (capteurs automates, actionneurs). Dans une zone géographique limitée (terrain).

Les technologies les plus répandues sont : Modbus, Profibus, Interbus-S, ASI, Lonworks et bus CAN[59].

- **Profibus** : PROFIBUS définit les propriétés techniques et fonctionnelles d'un système assurant l'interconnexion entre es automates industriels et des équipements de tel que (capteurs/actionneurs). PROFIBUS est un protocole industriel issue de siemens. Définie les propriétaire maîtres des stations esclaves[59].
- **Mode bus** : Modbus est un protocole de communication utilisé pour des réseaux d'automates programmables (API).Il fonctionne sur le mode maître/esclave pour l'échange des trames.

Actuellement CEVITAL n'utilise pas la configuration à distance, a priori ils peuvent commander un équipement à distance en utilisant des variateurs ou démarreurs on lui demandant de démarrer ou s'arrêter[59].

1.8 Discussion

Durant notre stage, nous avons appris que l'objectif principale de la direction de CEVITAL est d'aller vers l'industrie 4.0

Notre projet donc, vise à aider les différents services à migrer vers l'industrie 4.0 avec les objets suivants :

1. Proposer une nouvelle architecture réseau (informatique et industriel) qui prend en considération les lots et les principes de base de l'industrie 4.0,
2. Etablir une solution intelligente pour la prédiction de pannes (maintenance prédictive).

1.9 Conclusion

Le stage pratique que nous avons effectué nous a permis de nous familiariser avec le réseau CEVITAL actuel et de comprendre l'utilité de ses différents détails, ce qui nous a permis d'identifier les lacunes et les faiblesses du réseau. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter l'industrie 4.0.

Chapitre 2

Industrie 4.0

Sommaire

2.1	Introduction	12
2.2	Historique	12
2.3	Definition	13
2.4	Implementation	15
2.5	Standards et Normes	15
2.6	Aspect Economique	16
2.6.1	Avantages	16
2.6.2	Inconvénients	16
2.7	Conclusion	16

2.1 Introduction

Industrie 4.0 fait référence à la quatrième révolution industrielle, qui se caractérise par l'intégration de technologies avancées telles que l'intelligence artificielle, la robotique, le big data et l'Internet des objets (IOT).

Dans l'ensemble, l'Industrie 4.0 est considérée comme un moteur clé de la croissance économique et de la compétitivité dans le secteur manufacturier, et de nombreux pays ont mis en œuvre des initiatives pour promouvoir son adoption[42].



FIG. 2.1 – Les technologies clés de l'industrie 4.0[54].

2.2 Historique

L'Industrie 4.0 est la quatrième révolution industrielle. C'est un concept relativement récent qui est né en Allemagne. Elle est caractérisée par l'utilisation de la technologie de l'Internet des objets (IoT), de l'intelligence artificielle (IA), de la robotique avancée et de la réalité augmentée pour créer des usines intelligentes et connectées. Cela permet une production plus efficace, une maintenance prédictive, une personnalisation de masse et une communication instantanée entre toutes les parties prenantes.

Aujourd'hui, l'Industrie 4.0 continue d'évoluer et de se développer à mesure que de nouvelles technologies émergent et que les besoins de l'industrie manufacturière changent. En résumé, Cette industrie est la prochaine étape dans l'évolution de l'industrie manufacturière, qui utilise la technologie de pointe pour créer des usines intelligentes et connectées[58].

Voici ci-dessous une figure (figure 2.2) résumant l'évolution de l'industrie

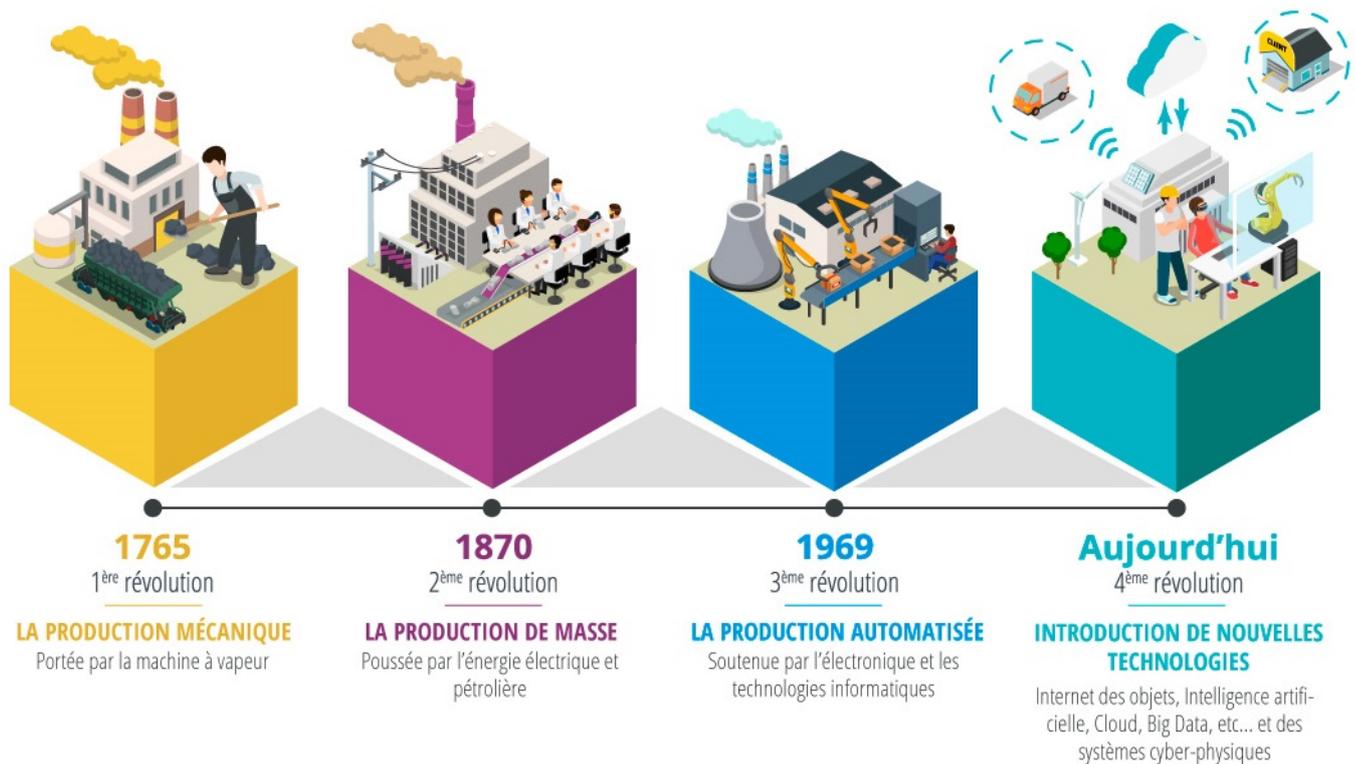


FIG. 2.2 – Révolutions industrie[5].

2.3 Définition

Le terme "Industrie4.0" était à l'origine utilisé comme nom d'une association de recherche entre le gouvernement allemand et un projet stratégique de haute technologie dirigé par le ministre allemand de la recherche, mais a depuis trouvé d'autres utilisations dans le monde anglophone[48].

Elle est rendue possible par l'intégration de technologies issues du monde numérique (voir Figure 2.3), telles que :

- **Internet des objets (IOT)** : Cette technologie permet aux objets physiques d'être connectés à internet et de communiquer entre eux. Dans l'industrie, cela permet de collecter des données en temps réel à partir de machines, de robots, de capteurs, etc. pour une analyse et une prise de décision plus rapides et plus précises[39].
- **Solutions mobiles** : y compris les tablettes et les smartphones, les capteurs portables et les lunettes intelligentes.
- **Cloud Computing** : défini comme l'utilisation de services hébergés tels que le stockage de données, les serveurs, les bases de données, les réseaux et les logiciels sur Internet. Il comprend des solutions de traitement et de stockage de données économiques[6].
- **Systèmes cyber-physiques (CPS)** : basés sur un modèle numérique de l'environnement physique, utilisant des capteurs, des actionneurs et des processeurs pour surveiller les processus physiques.
- **Big Data Analytics et Business Intelligence** : transformez les données en informations exploitables, notamment des algorithmes d'alerte précoce, des modèles prédictifs, des outils d'aide à la décision, des workflows et des tableaux de bord[41].
- **L'intelligence artificielle (IA) et le machine learning (ML)** : Ces technologies permettent aux machines de prendre des décisions en utilisant des algorithmes complexes basés sur des données.

Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour la maintenance prédictive, l'optimisation des processus de production, la surveillance de la qualité[7].

- **La réalité augmentée (RA) et la réalité virtuelle (RV)** : Ces technologies permettent de visualiser des objets virtuels dans un environnement réel et vice versa. Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour former des employés, pour la maintenance prédictive et pour la conception de produits[8].
- **La fabrication additive** : Cette technologie, également connue sous le nom d'impression 3D, permet de produire des pièces en ajoutant des couches successives de matériaux. Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour la production de pièces de rechange, la fabrication de prototypes, etc[9].
- **La robotique collaborative** : Les robots collaboratifs, également connus sous le nom de cobots, sont des robots conçus pour travailler aux côtés des travailleurs humains. Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour la manutention de matériaux, l'assemblage de pièces, la peinture, etc[10].
- **La cyber-sécurité** : Comme les usines intelligentes sont de plus en plus connectées, la sécurité des données est devenue une préoccupation majeure. La cyber-sécurité est donc une technologie clé de l'Industrie 4.0 pour protéger les données de l'entreprise contre les cyberattaques[45].
- **Technologies de fabrication avancées** : y compris la robotique et l'impression 3D.

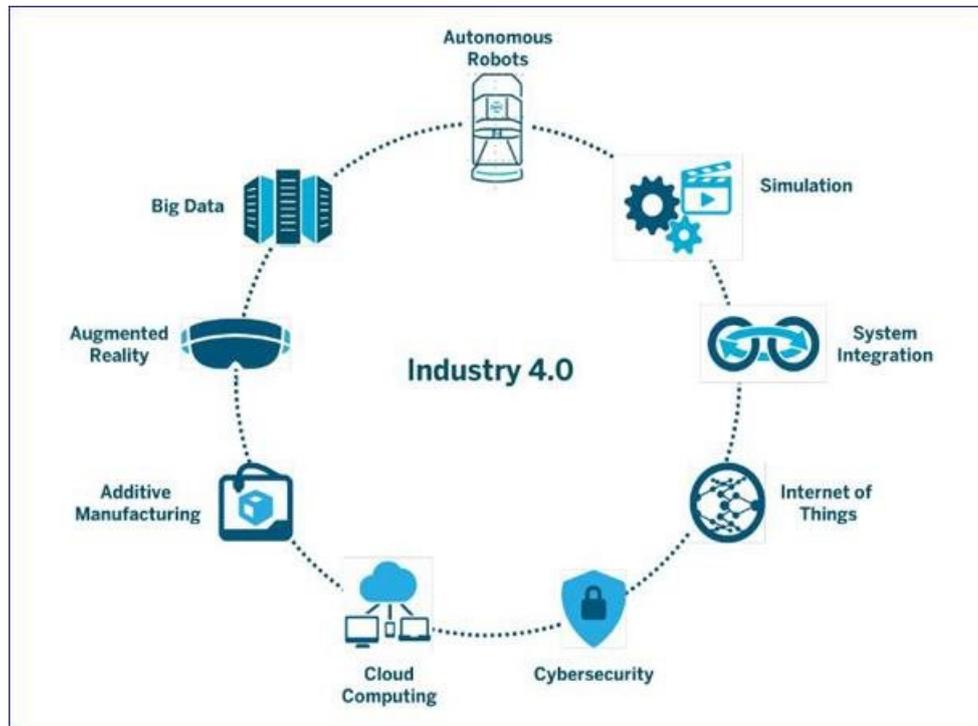


FIG. 2.3 – les technologies clé de l'industrie 4.0

L'Industrie 4.0 est une évolution de l'industrie qui intègre des technologies numériques et de l'intelligence artificielle pour créer des usines intelligentes, des chaînes d'approvisionnement intelligentes et des processus de fabrication plus efficaces.

Ces technologies clés de l'Industrie 4.0 sont en train de transformer la façon dont les entreprises fabriquent leurs produits, créent leurs chaînes d'approvisionnement et interagissent avec leurs clients.

2.4 Implementation

L'implémentation de l'Industrie 4.0 peut varier selon l'entreprise et l'industrie, mais en général, cela implique les étapes suivantes[50] :

1. **Analyse des processus** : Les entreprises doivent commencer par analyser leurs processus de production actuels pour identifier les opportunités d'amélioration et les domaines où les technologies de l'Industrie 4.0 peuvent être appliquées.
2. **Planification de la transformation** : Une fois que les domaines d'amélioration ont été identifiés, les entreprises doivent planifier la mise en œuvre des technologies de l'Industrie 4.0, y compris l'identification des technologies spécifiques à utiliser et des coûts associés.
3. **Mise en œuvre des technologies** : Les entreprises doivent ensuite mettre en œuvre les technologies sélectionnées, en s'assurant que les systèmes sont interconnectés et communiquent entre eux.
4. **Formation du personnel** : L'adoption de l'Industrie 4.0 nécessite souvent une formation et un développement de compétences pour les travailleurs afin de s'adapter à de nouveaux processus de production et technologies.
5. **Surveillance et optimisation** Les entreprises doivent surveiller en continu les processus de production pour identifier les goulots d'étranglement, les inefficacités et les opportunités d'amélioration, et ajuster en conséquence.
6. **Évolutivité** : L'Industrie 4.0 est une transformation continue, il est donc important pour les entreprises de planifier à long terme et de s'assurer que les systèmes sont évolutifs pour répondre aux besoins futurs.

L'implémentation de l'Industrie 4.0 est un processus complexe et requiert souvent une transformation culturelle de l'entreprise.

2.5 Standards et Normes

Il existe plusieurs normes et standards pertinents pour l'implémentation de l'Industrie 4.0.

Voici quelques exemples :

- **OPC UA** : Cette norme fournit une architecture unifiée pour l'interopérabilité des systèmes dans l'Industrie 4.0. Elle permet la communication entre les machines et les systèmes de différents fabricants[11].
- **ISO 27001**: Cette norme établit des exigences pour un système de gestion de la sécurité de l'information pour protéger les données sensibles dans l'environnement de l'Industrie 4.0[12].
- **IEC 62443** : Cette norme fournit des directives pour la sécurité des systèmes de contrôle industriels. Elle est utile pour la protection contre les cyber-attaques et les failles de sécurité[13].
- **ISO 9001** : Cette norme établit des exigences pour un système de gestion de la qualité. Elle est utile pour garantir la qualité des produits et des processus dans l'Industrie 4.0[14].
- **VDI/VDE 3715** : Cette norme fournit des recommandations pour la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 en termes de conception et de mise en œuvre de systèmes de production intelligents[55].

En résumé, ces normes et standards sont utiles pour garantir l'interopérabilité, la sécurité, la qualité et la fiabilité des systèmes dans l'environnement de l'Industrie 4.0. Ils peuvent aider les entreprises à mettre en place des systèmes de production intelligents et connectés en toute sécurité et avec des performances de qualité.

2.6 Aspect Economique

L'Industrie 4.0 peut avoir un impact significatif sur l'économie. Elle offre des opportunités pour améliorer l'efficacité, la personnalisation des produits et la réduction des coûts, mais elle présente également des défis tels que la nécessité de nouveaux talents, le risque de chômage et les investissements importants[40].

2.6.1 Avantages

Parmi les avantages nous citons

- **Augmentation de la productivité** : L'Industrie 4.0 peut aider les entreprises à améliorer leur efficacité et leur productivité grâce à des systèmes de production automatisés, une surveillance en temps réel et une analyse de données avancée.
- **Personnalisation des produits** : L'Industrie 4.0 permet une personnalisation accrue des produits, ce qui peut aider les entreprises à répondre aux besoins spécifiques des clients et à améliorer leur expérience d'achat.
- **Réduction des coûts** : L'Industrie 4.0 peut aider à réduire les coûts de production grâce à une automatisation accrue, une optimisation des processus et une utilisation plus efficace des ressources.

2.6.2 Inconvénients

Parmi les inconvénients nous citons

- **Besoin de nouveaux talents** : L'Industrie 4.0 nécessite des compétences et des talents différents de ceux nécessaires dans les industries traditionnelles. Les entreprises devront recruter ou former des travailleurs qualifiés pour gérer les nouvelles technologies.
- **Risques de chômage** : L'automatisation accrue peut entraîner une diminution des emplois dans les industries traditionnelles. Les entreprises doivent trouver des moyens de soutenir les travailleurs dans la transition vers de nouveaux emplois ou de nouvelles compétences.
- **Investissements importants** : L'implémentation de l'Industrie 4.0 nécessite des investissements importants dans les technologies, les formations et l'intégration des systèmes.

2.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons fait une introduction sur l'industrie 4.0 puis nous avons abordé les sujets suivants : l'historique, la définition, l'implémentation, les standards et normes et en dernier l'aspect économique.

Il est essentiel que les entreprises planifient soigneusement la mise en œuvre de l'Industrie 4.0 pour maximiser les avantages tout en minimisant les risques. Les normes et les standards pertinents peuvent aider les entreprises à garantir l'interopérabilité, la sécurité, la qualité et la fiabilité des systèmes dans l'environnement de l'Industrie 4.0.

Dans le chapitre qui suit, nous allons nous étaler sur l'implémentation de l'industrie 4.0 dans une entreprise (cas : CEVITAL).

Chapitre 3

Projet d'évolution vers L'industrie 4.0 (cas CEVITAL)

Sommaire

3.1	Introduction	18
3.2	Principes de conception de l'industrie 4.0	18
3.2.1	Avantages et inconvénients	19
3.3	Plan stratégique de CEVITAL pour l'implémentation de l'industrie 4.0	20
3.3.1	Analyse des besoins	20
3.3.2	Élaboration d'un plan de mise en œuvre	20
3.3.3	Mise en place de la technologie	20
3.3.4	Formation et développement des compétences	22
3.3.5	Surveillance et évaluation	22
3.4	Conclusion	22

3.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons parler des projets d'évolution de CEVITAL vers l'implémentation l'industrie 4.0 dans les entreprises qui nécessite une transformation importante de l'ensemble de la chaîne de production.

Cela peut inclure l'installation de capteurs et de systèmes de communication pour collecter des données en temps réel, la mise en place de solutions d'analyse de données pour traiter ces données, la mise en place de systèmes de production intelligents qui peuvent être contrôlés à distance, et la formation du personnel à ces nouveaux systèmes.les données sont affichées en temps réel sur le terminal.

Dans ce qui suit nous allons aborder les points suivants :

1. Principes de conception de l'industrie 4.0 ;
2. Avantage et inconvénient ;
3. Plan stratégique de CEVITAL pour l'implémentation de l'industrie 4.0.

3.2 Principes de conception de l'industrie 4.0

Hermann, (2016) définit quatre principes de conception pour guider les praticiens et les scientifiques Sur les étapes à franchir vers l'industrie 4.0(figure 3.1). C'est Interconnexion, transparence de l'information, prise de décision décentralisée et assistance technique[49].

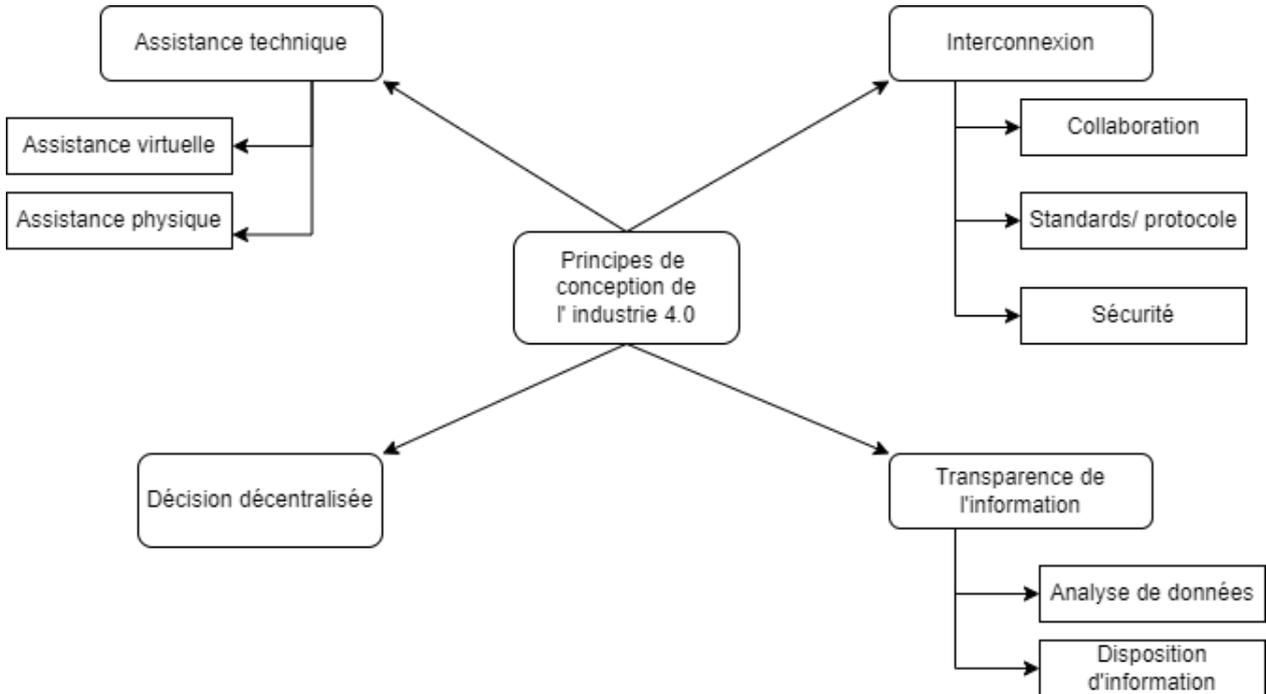


FIG. 3.1 – Principes de Conception de L'industrie 4.0[47].

Dans ce qui suis on va détailler ses quatre étapes :

1. **L'interconnexion** : L'Internet des objets permet aux machines, appareils, capteurs et personnes de se connecter et de collaborer en partageant des informations, afin d'atteindre des objectifs communs[49].
2. **Transparence de l'information** : La fusion du monde physique et virtuel permet de partager des informations entre les capteurs et les modèles de simulation. Cela crée une transparence des infor-

mations, où les données des capteurs sont combinées avec des informations précieuses pour prendre des décisions appropriées. Par exemple, les documents électroniques et les modèles de simulation contiennent des informations sur l'emplacement et l'état des outils dans le monde physique. Les données des capteurs sont analysées avec ces informations pour créer une transparence en temps réel, accessible à tous les participants[49].

3. **Décisions décentralisées** : La prise de décision décentralisée repose sur la collaboration entre les objets connectés et les personnes, ainsi que sur la transparence des informations internes et externes à l'organisation[53].
4. **Assistance technique** : Dans les usines intelligentes, le rôle des travailleurs évolue. Ils passent de celui d'opérateurs de machines à celui de décideurs. Grâce aux systèmes de support qu'il aide[46].

3.2.1 Avantages et inconvénients

Ci-dessous nous allons énumérer les avantages et inconvénients de l'implémentation de l'industrie 4.0 dans une entreprise [49] :

3.2.1.1 Avantages

L'implémentation de l'industrie 4.0 offre de nombreux avantages potentiels aux entreprises, notamment :

- **Amélioration de l'automatisation de la production** : Grâce à l'automatisation des processus de production, à la connectivité des machines et à l'efficacité des capteurs, les entreprises peuvent :
 1. Optimiser leurs processus de fabrication,
 2. Réduire les temps d'arrêt, minimiser les erreurs humaines,
 3. Augmenter la productivité globale.
- **Augmentation de la flexibilité** : L'industrie 4.0 permet aux entreprises de s'adapter rapidement aux changements du marché et aux demandes des clients en :
 1. Modifiant rapidement les paramètres de production,
 2. Optimisant la chaîne d'approvisionnement,
 3. Offrant une personnalisation accrue des produits.
- **Amélioration de la prise de décision** : Grâce à l'utilisation de l'analyse de données en temps réel, les entreprises peuvent prendre des décisions éclairées fondées sur des données concrètes, cela peut les aider à optimiser leurs opérations, anticiper les problèmes potentiels, et à prendre des mesures préventives.

3.2.1.2 Inconvénient

Cependant, il existe également des inconvénients potentiels à l'implémentation de l'industrie 4.0, notamment :

- **Investissement initial élevé** : La mise en place d'un système industriel 4.0 peut nécessiter des investissements importants en termes d'infrastructures, de technologies et de formation du personnel.
- **Risques de sécurité** : La connectivité accrue des systèmes et des données peut également entraîner des risques de cybersécurité, tels que le vol de données, les attaques malveillantes ou les interruptions de service, ce qui peut compromettre la confidentialité et la sécurité des informations sensibles de l'entreprise.
- **Impact sur l'emploi** : L'automatisation accumulée des processus de production peut entraîner des perturbations sur le marché du travail, en remplaçant certains emplois traditionnels par des technologies automatisées, ce qui peut poser des défis en matière de reconversion professionnelle.

3.3 Plan stratégique de CEVITAL pour l'implémentation de l'industrie 4.0

L'implémentation de l'industrie 4.0 peut être une décision stratégique importante pour les entreprises. Pour réussir, il est essentiel de planifier soigneusement les étapes de mise en œuvre et de développer une stratégie claire pour tirer parti des avantages de l'industrie 4.0 tout en minimisant les risques. Voici un plan stratégique en cinq étapes pour l'implémentation vers l'industrie 4.0 [43] :

3.3.1 Analyse des besoins

Pour commencer, il faut analyser les besoins, les processus de production et les objectifs de l'entreprise. Cela permet de comprendre les défis et les avantages potentiels liés à l'adoption de l'industrie 4.0.

3.3.2 Élaboration d'un plan de mise en œuvre

La deuxième étape implique la création d'un plan détaillé pour l'adoption de l'industrie 4.0 (voir figure : plan de cevital). Ce plan doit comprendre les étapes, les technologies, les ressources nécessaires. Il est essentiel d'évaluer les risques et les coûts liés à la mise en œuvre de la technologie.

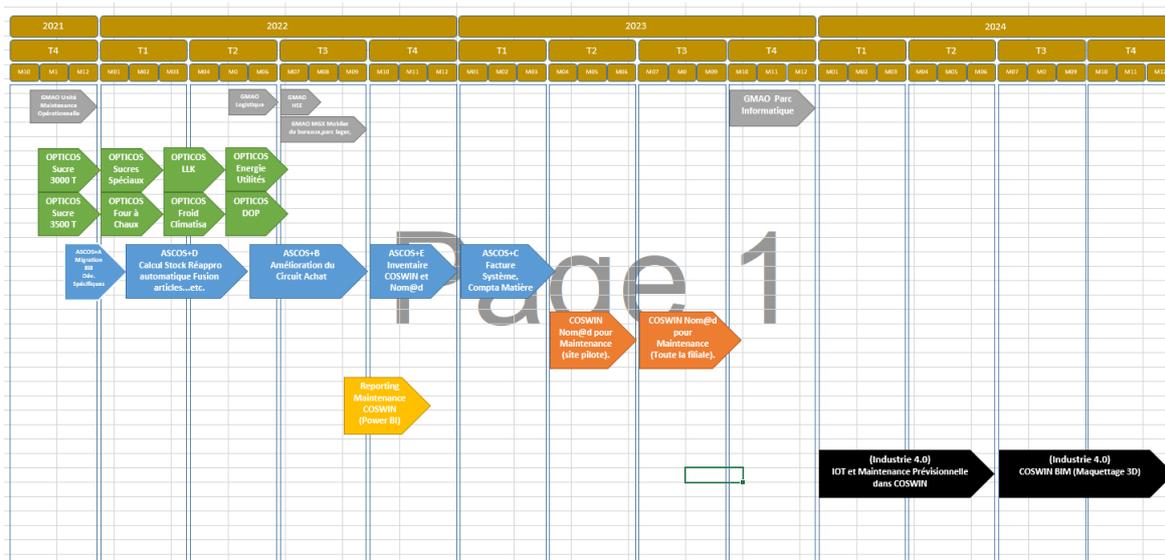


FIG. 3.2 – Plan d'adoption de l'industrie 4.0 (cas cevital).

3.3.3 Mise en place de la technologie

La troisième étape implique la mise en place de la technologie de l'industrie 4.0, notamment l'automatisation de la production et l'utilisation de l'Internet des objets (IoT) pour collecter et analyser les données en temps réel.

Ci-dessous nous allons voir ce que CEVITAL pense introduire :

3.3.3.1 Maintenance prévisionnelle et IoT

- **Contexte :** Coswin IoT permet de collecter les données sur le terrain grâce à des capteurs installés sur les bâtiments et les équipements.

Ces informations (Big data) sont traitées et analysées via des tableaux de bord qui sont transmis à la GMAO par des alertes paramétrables. Celles-ci génèrent directement les interventions de maintenance associées.

Les processus sont automatisés afin de passer d'une maintenance préventive à une maintenance prévisionnelle.

- **Périmètre** : Projet Pilote.
- **Budget estimatif** : 100 000,00 €.
- **Délai estimatif** : 06 mois (premier semestre 2024).

3.3.3.2 BIM (Maquettage 3D) :

- **Contexte** : Le BIM (Building Information Modeling) ou maquette numérique est utilisée pour la conception des bâtiments. Cette maquette, qui contient une mine d'informations, peut être également utilisée pour la gestion et l'exploitation des équipements de l'usine.

Coswin BIM fait converger GMAO et BIM, afin de répondre aux besoins et préoccupations des gestionnaires d'immeubles et d'usine et des prestataires de maintenance, à savoir, gérer les travaux de maintenance et assurer le bon fonctionnement du bâtiment et des équipements en toute sécurité.

L'intégration d'un serveur BIM permet de :

- Importer des maquettes numériques au Format IFC* dans le serveur BIM et les visualiser en 3D dans Coswin.
- Appeler un objet d'une maquette numérique depuis un équipement ou un diagramme (au moyen d'une table de correspondance entre chaque objet BIM et le code Équipement dans Coswin 8i).
- Naviguer dans la maquette numérique.
- Associer des fonctions Coswin (exemples : affichage topo, créer DI/OT, sélecteur DI/OT...) aux objets identifiés dans la maquette numérique.
- **Périmètre** : Projet Pilote.
- **Budget estimatif** : 100 000,00 €.
- **Délai estimatif** : 06 mois (deuxième semestre 2024).

3.3.3.3 ASCOS+ E Inventaire COSWIN et Nom@d

- **Contexte** : Depuis l'utilisation de Coswin pour gérer les stocks en 2011 à aujourd'hui, le module inventaire de Coswin n'a jamais été utilisé.

L'inventaire des PDR et autres articles MGX est actuellement géré hors COSWIN avec les méthodes classiques de saisie sur Excel...etc.

L'objectif est de gérer les inventaires et ajustements directement dans COSWIN avec l'introduction de la solution mobile (Coswin Nom@d) permettant ainsi une identification rapide des articles depuis des codes à barres avec une saisie du comptage en temps réel.

- **Périmètre** : Toute la filiale agro-industrie.
- **Budget estimatif** : 70 000,00 €.
- **Délai estimatif** : 03 mois (troisième trimestre 2023).

3.3.4 Formation et développement des compétences

La quatrième étape consiste à former les employés et à développer les compétences nécessaires pour travailler avec les technologies de l'industrie 4.0.

3.3.5 Surveillance et évaluation

La cinquième étape consiste à surveiller les résultats et à évaluer l'efficacité de l'implémentation de l'industrie 4.0.

En suivant ces cinq étapes, les entreprises peuvent élaborer une stratégie efficace pour l'implémentation de l'industrie 4.0, qui leur permettra de profiter des avantages de cette technologie tout en minimisant les risques et les coûts.

3.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vu l'importance de la mise en œuvre de l'Industrie 4.0. En citant quelque les avantages et inconvénient, les principes de la conception de cette industrie, et le plan que CEVITAL veut suivre.

Pour le chapitre suivant, nous explorerons en détail la maintenance et son importance.

Chapitre 4

Maintenance Prédicative

Sommaire

4.1	Introduction	24
4.2	Définition de la maintenance	24
4.3	Types de maintenance	24
4.3.1	Maintenance corrective ou réactive	24
4.3.2	Préventive	25
4.4	Niveaux de la maintenance	27
4.5	Les avantages et les inconvénients	28
4.6	Conclusion	30

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous explorerons en détail l'importance de la maintenance, ses types et leurs avantages et inconvénients. Encore aujourd'hui, nombreux sont les responsables industriels qui ne mesurent pas l'impact positif d'une bonne gestion de la maintenance industrielle sur l'activité de leur entreprise.

L'histoire de la maintenance industrielle est aussi ancienne que celle de l'industrie, mais elle n'est devenue une activité de premier plan que dans le courant des années 1980.

4.2 Définition de la maintenance

Il existe deux définitions de la maintenance qui sont :

1. En 1994, l'AFNOR propose : « l'ensemble des actions permettent de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifique ou en mesure d'assurer un service déterminé » (NFX60-010) ;
2. En 2001, une autre venue d'Europe voit le jour : « Ensemble de toutes les actions technique, administratives et management durant les cycles de vie d'un bien ; destinées à le maintenir ou à le rétablir dans un état dans lequel il peut accomplir la fonction requise » (NF EN 13306 X60-319)[15].

4.3 Types de maintenance

La maintenance industrielle a connu une évolution significative ces dernières années, passant d'une approche réactive à une approche plus proactive et prédictive. Voici quelques-unes des étapes clés de cette évolution :



FIG. 4.1 – Courbe représentant le moment où la maintenance se déclenche en fonction de la gravité du dommage[16].

4.3.1 Maintenance corrective ou réactive

La maintenance réactive est un type de maintenance qui implique de traiter l'équipement ou des problèmes de machines après qu'ils se soient produits et que des réparations sont nécessaires pour remettre

l'équipement dans son état fonctionnel.

Dans la plupart des cas, la maintenance réactive est plus coûteuse que la maintenance proactive (maintenance avant que la panne n'arrive), car elle nécessite souvent des réparations d'urgence. Le temps d'arrêt peut entraîner une perte de productivité, des délais non respectés et une perte de revenus.

Pour minimiser les coûts et les risques liés à la maintenance corrective, il est important d'avoir une procédure de dépannage rapide et efficace en place, ainsi qu'un plan d'urgence pour faire face aux pannes imprévues[17].

La figure suivante nous montre le mode de fonctionnement de cette maintenance :

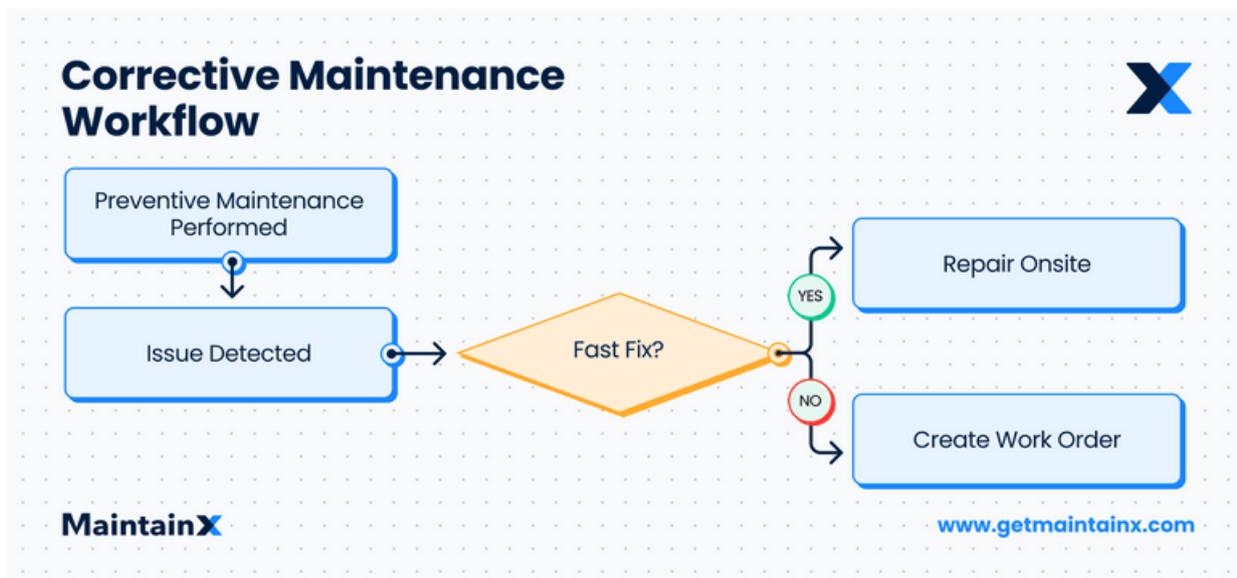


FIG. 4.2 – Maintenance réactive[18].

4.3.2 Préventive

La maintenance préventive est une approche planifiée à l'avance. La définition donnée par l'AFNOR est la suivante : « Maintenance exécutée à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrit et destinés à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement d'un bien » En ce qui concerne cette approche, on compte trois sous-types qui sont les suivants[19] :

4.3.2.1 Préventive systématique :

La maintenance préventive systématique, comme son nom l'indique, vise à prévenir les pannes en effectuant un entretien périodique des équipements et en résolvant les problèmes mineurs (voir figure 27) avant qu'ils n'aient un impact majeur sur les activités de l'entreprise. Elle est basée sur un programme ou un calendrier de maintenance. Celle-ci est caractérisée en conséquence d'un certain nombre de paramètres tels que l'âge et l'usure des équipements.

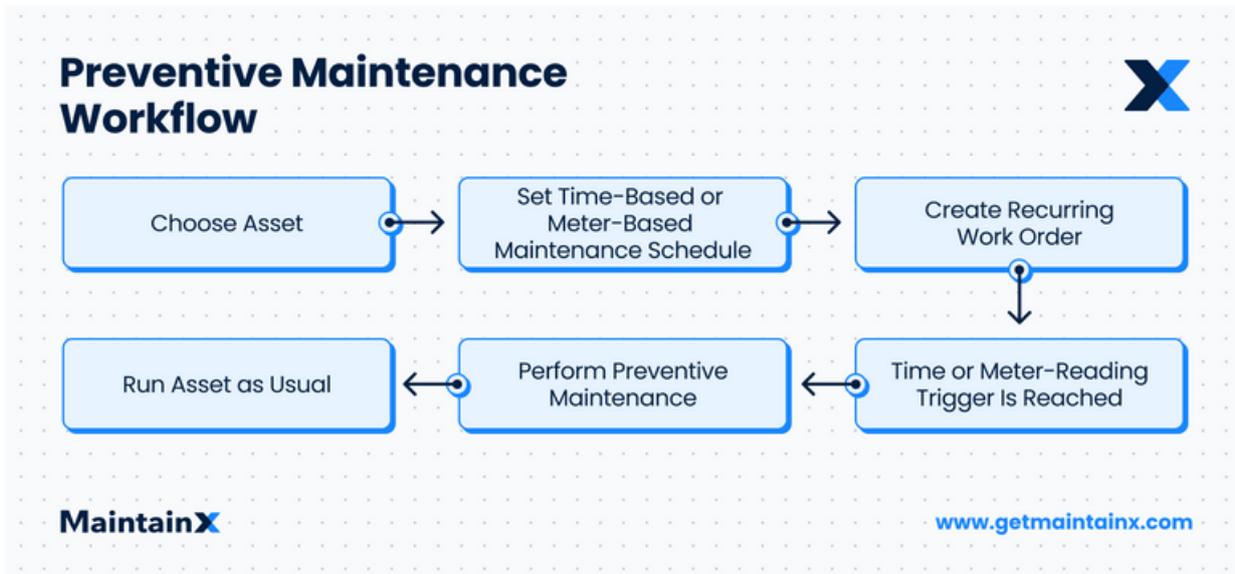


FIG. 4.3 – Maintenance préventive systématique[20].

4.3.2.2 Préventive conditionnelle

La maintenance préventive conditionnelle fait partie intégrante de celle qui est systématique. (Voir figure 28). Les conditions indiquées se réfèrent à l'état de l'appareil. Plutôt que d'organiser les opérations de maintenance selon un calendrier, les machines sont constamment surveillées, en quête du moindre signe d'anomalies futures.

Prenons un exemple : les moteurs peuvent être surveillés de près, prise de température toutes les trois heures ou selon différents rythmes. Bien sûr, il est éventuellement envisageable d'installer des capteurs qui mesurent la température et déclenchent des alarmes si la température descend en dessous ou monte au-dessus des bornes fixées. Il existe divers autres paramètres qui peuvent être gardés à vue dans le cadre d'une maintenance préventive conditionnelle : température, vibration, vitesse, puissance, humidité, etc.[19]

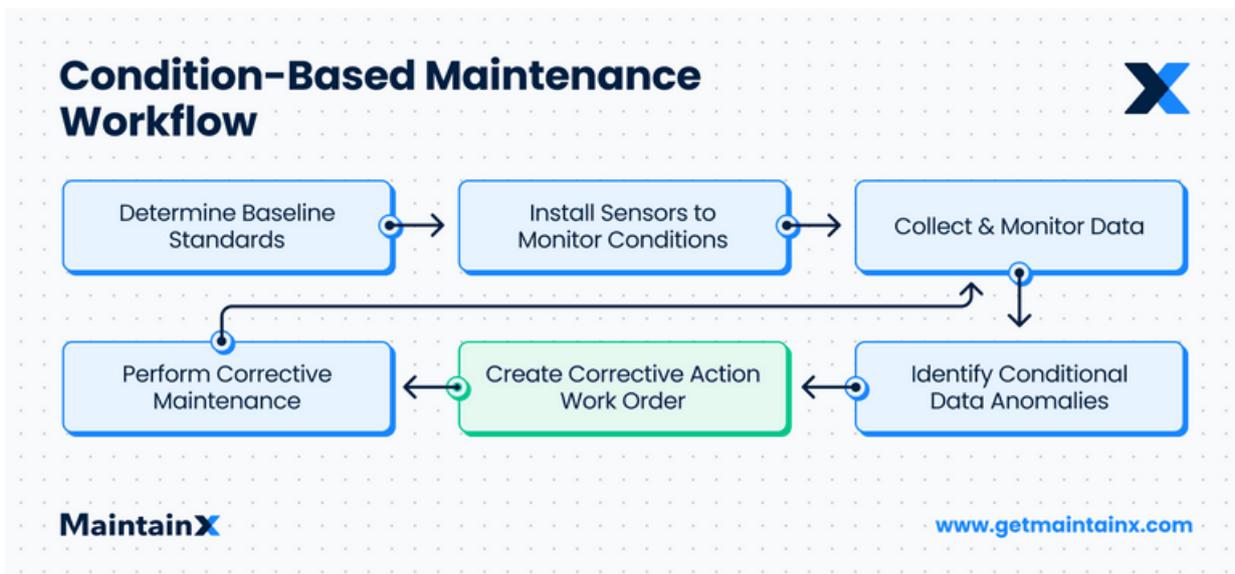


FIG. 4.4 – Maintenance préventive conditionnelle

4.3.2.3 Prévisionnelle (predictive en anglais) :

La norme européenne sur la prédictive définit la maintenance prévisionnelle comme étant une : « maintenance conditionnelle exécutée suite à une prévision obtenue grâce à une analyse répétée ou à des caractéristiques connues et à une évaluation des paramètres significatifs de la dégradation du bien »

La maintenance prédictive est la nouvelle solution adoptée par l'industrie 4.0 avec l'internet industriel des objets (IIOT). Elle est également étroitement liée à la gestion de la maintenance assistée par ordinateur (GMAO).

Dans différent contexte, cette maintenance dite prédictive est similaire à la maintenance préventive conditionnelle. Cependant, dans cette approche en analysant les données, elle prédit et prévoit des pannes ultérieures.

Dans le cas de la démarche prédictive, les flux de données constants sont soigneusement examinés de fond en comble par le logiciel, de sorte que le moteur ne parvienne en aucun cas à atteindre les bornes fixées. Ce système de maintenance les analyse et exécute des algorithmes très complexes pour chercher des symptômes ou des signes. De la sorte, la machine peut être à ses limites niveau température sans les dépasser, mais si en interprétant les données, le logiciel trouve des signes indiquant que quelque chose de grave est sur le point de survenir, il lance impérativement la maintenance[19].(Voir figure 4.5)

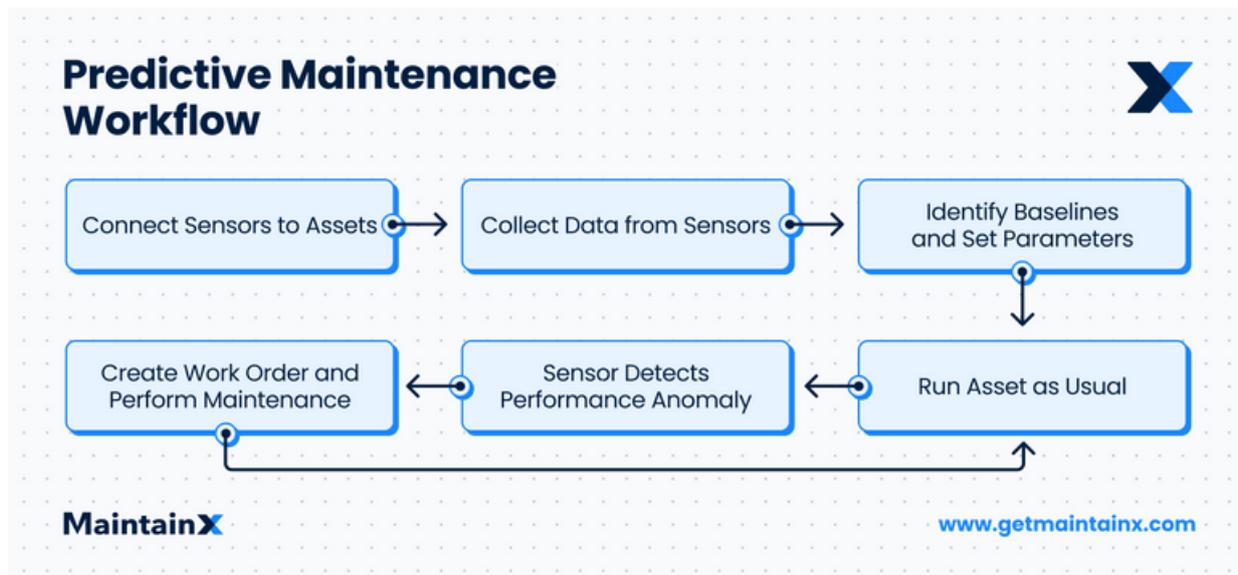


FIG. 4.5 – Maintenance prédictive[21].

4.4 Niveaux de la maintenance

Les niveaux de maintenance est une classification qui a pour but de maximiser la préservation des machines industrielles. Un degré de complexité des interventions de maintenance correspond à chaque niveau. Il est possible grâce à cela de : déterminer le niveau d'expertise requis, déterminer les moyens qui devront être déployé pour réaliser une opération et évaluer si une intervention va se faire en interne ou par un prestataire externe.

Il existe, selon l'AFNOR cinq niveaux de maintenance qui sont regroupés dans le tableau qui suit :

<i>Niveau</i>	<i>Types de Travaux</i>	<i>Personnel d'intervention</i>	<i>Moyens</i>
1 ^{er} niveau	réglages simples prévus par le constructeur au moyen d'organes accessibles sans aucun démontage d'équipement, ou échange d'éléments accessibles en toute sécurité.	pilote ou conducteur du système	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation.
2 ^{ème} niveau	dépannage par échange standard d'éléments prévus à cet effet, ou d'opérations mineures de maintenance préventive (rondes)	Technicien habilité	outillage léger défini dans les instructions d'utilisation et pièces de rechanges disponibles sans délai.
3 ^{ème} niveau	identification et diagnostic de pannes, réparation par échange de composants fonctionnels, réparations mécaniques mineures.	Technicien spécialisé	outillage prévu et appareils de mesure, banc d'essai, contrôle...
4 ^{ème} niveau	travaux importants de maintenance corrective ou préventive	équipe encadrée par un technicien spécialisé	outillage général et spécialisé, matériels d'essais, de contrôle...
5 ^{ème} niveau	travaux de rénovation, de reconstruction ou réparation importantes confiées à un atelier central	équipe complète et polyvalente	moyens proches de la fabrication

TAB. 4.1 – Niveaux de la Maintenance selon AFNOR[22].

4.5 Les avantages et les inconvénients

Pour chaque type de maintenance, il y a un certain nombre d'avantages et d'inconvénients.

Le tableau suivant résume cela :

Type	Avantages	Inconvénients
Corrective Réactive /	Frais initiaux bas ;	Augmentation des frais à long terme ;
	Peu de planifications ;	Temps d'arrêt imprévus et parfois très long affectant la production globale ;
	Economies sur les coûts de personnel ;	Problèmes de sécurité ;
	Pratique lorsqu'il est appliqué sur des ressources non critiques et moins prioritaire.	Problèmes de budget ;
		Réduction de l'espérance de vie des appareils ;
		Problèmes répétés si l'intervention n'est pas bien exécutée résoudre pour le problème ;
		Consommation d'énergie plus élevée.
		Réparation d'un dommage qu'après son arrivée.
Stockage important voir impulsif des pièces.		
Préventive	Moins cher à mettre en œuvre ;	Peut agir sur des dommages non réels (alarmiste) ;
	Augmente la durée de vie des ressources ;	Engendre des pertes économiques ;
	Augmente la productivité des machines ;	Engendre des pertes temporelles ;
	Réduit les temps d'arrêt non planifiés ;	Beaucoup de planification
	Sécurité accrue.	Révisions non nécessaires.
Prédictive	Réduction des couts considerable allant jusqu'à 40% ;	Nécessité d'une bonne formation des équipes de maintenance ;
	Réduction des temps d'arrêts ;	
	Accroissement de la durée de vie des équipements ;	Frais initiaux élevé;
	Anticipation des pannes modérée (contrairement à la maintenance préventive qui est exagérée);	Niveau de technologie plus avancé (camera intelligentes, capteurs,...etc.) ;
	Remplacement que des pièces défectueuses ;	Non nécessaire aux équipements non prioritaires.
	Rentable au long terme.	

TAB. 4.2 – Avantages et inconvénients des types de maintenance[23].

Voilà, une petite comparaison entre les trois approches de la maintenance :

<u>TYPE DE MAINTENANCE</u>	<u>CORRECTIVE</u>	<u>PREVENTIVE</u>	<u>PREDICTIVE</u>
MOTIF DE L'ACTION DE MAINTENANCE	PANNE	REVISION PROGRAMMEE	INSPECTION PROGRAMEE
ETAT DE L'EQUIPEMENT	ARRETE	ARRETE	EN FONCTIONNEMENT
TACHE A REALISER	CHANGEMENT OU REPARATION DE PIECES	REVISION OU CHANGEMENT DE PIECE	SURVEILLANCE DE PARAMETRES
OBJECTIF	REMISE EN SERVICE DE LA MACHINE	GARANTIR LE FONCTIONNEMENT D'UNE MACHINE PENDANT UNE PERIODE DETERMINEE	DETECTER LES ANOMALIES A TEMPS ET PROGRAMMER LEURS CORRECTIONS

FIG. 4.6 – Comparaison entre les différents types de maintenance[24].

Discussion : Nous avons appris dans ce chapitre que la maintenance prédictive faisait partie de celle qui est dite préventive et qu'elle est, dans certains cas la meilleure option à utiliser.

Dans celui qui suit nous avons présenté les architecture réseaux et pannes.

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté la maintenance prédictive tous en parlant des points suivant :

1. Définition de la maintenance ;
2. Ses types (corrective, préventive, prédictive) ;
3. Ses niveaux de maintenance ;
4. Les avantages et les inconvénients de chaque type ;

Chapitre 5

Analyse prédictive

Sommaire

5.1	Introduction	32
5.2	Analyse de données	32
5.3	Types d'analyse de données	32
5.4	Analyse prédictive	32
5.5	Etapes clés de l'analyse prédictive	33
5.6	Type de modèles d'analyse prédictive	33
5.7	Domaine d'utilisation de l'analyse prédictive	34
5.8	Application de l'analyse prédictive (cas CEVITAL)	34
5.9	Conclusion	35

5.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons parler de l'analyse de donnée et ses types, puis nous allons nous intéresser à l'analyse prédictive en citant ses étapes, ses modèles et ses différents domaines d'utilisation.

Pour atteindre le but de pouvoir employer une maintenance dite prédictive dans une industrie (tel que CEVITAL), sachant qu'elle a énormément d'avantages dans le monde de l'industrie et beaucoup d'autres domaines, on doit user de l'analyse prédictive qui est une étape cruciale dans ce type de maintenance.

L'analyse des données et plus précisément l'analyse prédictive permet aujourd'hui de gérer la maintenance plus sereinement, et de prévoir les pannes bien avant leur apparition, plutôt que de les réparer, en toute sécurité.

5.2 Analyse de données

L'analyse de données est l'ensemble de méthodes statistiques appliquées à un ensemble de données pour en extraire des informations pertinentes. Cette extraction est dite fouille de donnée (data mining), elle a pour but de prélever des instructions, d'exposer des comportements ou réactions et de déceler des règles et corrélations[56].

5.3 Types d'analyse de données

On distingue principalement quatre types d'analyse de données qui sont (Voir figure suivante) :

1. L'analyse descriptive (permet de décrire et résumer des données historiques afin d'en tirer des informations utiles, en répondants à la question « que s'est-il passé ? »),
2. L'analyse diagnostique (prend les informations trouvées à partir e l'analyse descriptive et explore les causes de ces résultats, en répondants à la question « pourquoi cela s'est produit ? »),
3. L'analyse prédictive (nous la définirons dans le titre qui suit),
4. L'analyse prescriptive (anticipe et explique un phénomène qui va se passer et répond aux questions : ' Pourquoi cela va se passer ?' mais surtout 'Que pouvons-nous faire en conséquence?')[57].

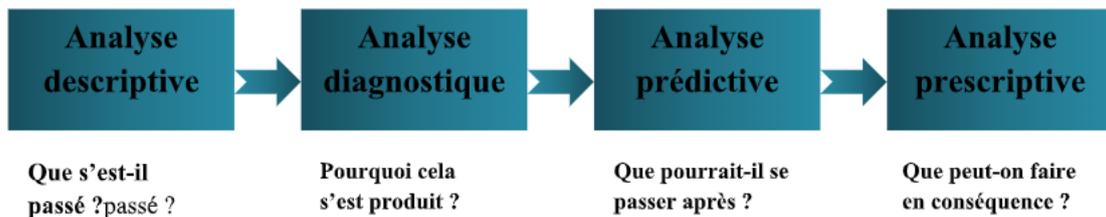


FIG. 5.1 – Types d'analyse de données

Nous allons nous étaler sur celle qui nous intéresse le plus ici. Concrètement, l'analyse prédictive.

5.4 Analyse prédictive

L'analyse prédictive est une poussée de l'analyse de données, qui essaie de répondre à la question « que pourrait-il se passer après ? ». Cette analyse consiste à utiliser des données pour prévoir/prédire les résultats futurs[25].

Elle permet l'utilisation de vastes quantités de données que de nombreuses entreprises collectent auprès de leurs clients, leurs marchés, des réseaux sociaux, des applications en temps réel ou bien du cloud. En révélant des informations concrètes, l'analyse prédictive aide à garder une longueur d'avance sur les concurrents. Cette méthode a gagné de l'intérêt l'utilisation du Big Data et de l'intelligence d'affaires (Business Intelligence)[26].

5.5 Etapes clés de l'analyse prédictive

L'analyse prédictive se base sur un cycle de six étapes majeures [27] :

1. Acquérir et identifier les données indispensables et utiles en évaluant diverses sources possibles (données historiques tel que : des données sur les équipements, des données comportementales, des données sociales ou des données financières) ;
2. Intégrer, manipuler, fusionner, nettoyer et compléter les data ;
3. Elaborer un modèle prédictif, à partir d'algorithmes statistiques et de Machine- Learning (ML) ;
4. Estimer l'efficacité et la précision du modèle prédictif (validation du modèle) ;
5. Utiliser le modèle prédictif pour orienter des décisions métiers ;
6. Assurer un suivi de l'application et de l'efficacité du modèle prédictif.

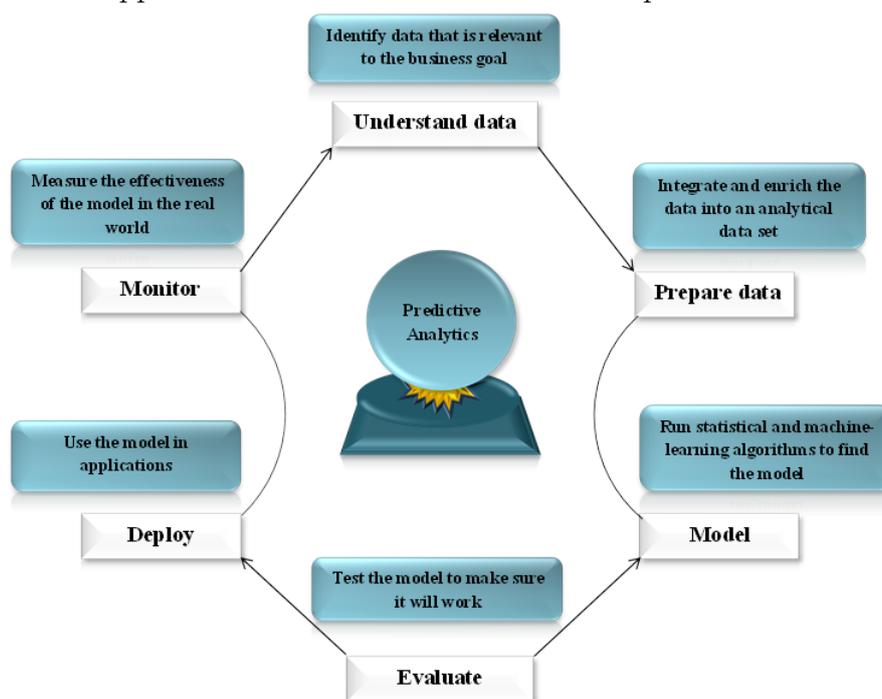


FIG. 5.2 – Les 6 Etapes de l'Analyse prédictive[52]

5.6 Type de modèles d'analyse prédictive

L'analyse prédictive comprend plusieurs modèles, parmi eux on cite ceux qui suivent [44] :

1. **Régression linéaire** : Cette méthode permet de trouver la corrélation entre une variable dépendante et une ou plusieurs variables indépendantes pouvant être quantifiées. Elle cherche essentiellement à créer un lien linéaire entre eux.

2. **Régression logistique** : Quand on essaie de pronostiquer une variable dépendante binaire catégorielle, ce modèle est souvent la méthode de référence. Il peut être utilisé pour classer des variables indépendantes.
3. **SVM** : Les SVM font un excellent travail pour trouver un hyper-plan optimal pour distinguer les différentes classes, ou même pour approximer une fonction de régression avec une précision maximale. Cela se fait en choisissant la meilleure marge pour les échantillons d'apprentissage.
4. **Arbres de décision** : Ceux-là, sont nos modèles de référence quand il s'agit de prédire un résultat spécifique. Ils nous permettent de considérer plusieurs facteurs avant de faire une supposition éclairée sur le résultat final. En d'autres termes on peut utiliser ce type d'arbre pour évaluer les valeurs des variables indépendantes et déterminer à leur tour quelle sera la valeur cible.
5. **Forêts aléatoires** : Les forêts aléatoires existent pour faire des suppositions éclairées. Ce modèle implique une multitude d'arbres de décision, chacun construit de manière aléatoire. Les réponses qu'ils produisent sont déterminées en combinant les prévisions des différents arbres.

5.7 Domaine d'utilisation de l'analyse prédictive

Cette analyse dite prédictive est utilisée dans de nombreux domaines pour anticiper et prévoir des événements futurs. Voici quelques-uns de ces domaines :

1. Marketing ;
2. Entreprise et finance ;
3. Soins de santé ;
4. Transport et logistique ;
5. Énergie ;
6. Télécommunications ;
7. Industrie manufacturière (comme CEVITAL) ;
8. Sécurité et lutte contre la criminalité...etc.

5.8 Application de l'analyse prédictive (cas CEVITAL)

Dans le tableau suivant nous avons coché toutes les étapes d'analyse prédictive des données de CEVITAL qu'on à appliquer :

	Etape d'analyse prédictive	Appliquée
1	Acquérir et identifier les données indispensables et utiles en évaluant diverses sources possibles (historique)	✓
2	Intégrer, manipuler, fusionner, nettoyer et compléter les data;	✓
3	Elaborer un modèle prédictif, à partir d'algorithmes statistiques et de Machine Learning (ML);	✓
4	Estimer l'efficacité et la précision du modèle prédictif (validation du modèle);	✗
5	Utiliser le modèle prédictif pour orienter des décisions métiers;	✗
6	Assurer un suivi de l'application et de l'efficacité du modèle prédictif.	✗

FIG. 5.3 – Checklist des étapes d'analyse prédictive appliquées au cas CEVITAL

5.9 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé de l'analyse prédictive en se basant sur les points suivants :

1. Analyse de données
2. Types d'analyse de données
3. Analyse prédictive
4. Les étapes clés de l'analyse prédictive
5. Domaine d'utilisation de l'analyse prédictive
6. Type de modèles d'analyse prédictive
7. Application de l'analyse prédictive (cas CEVITAL)

Dans celui qui suit nous allons nous concentrer sur l'historique et les pannes.

Chapitre 6

Pannes et Historique

Sommaire

6.1	Introduction	37
6.2	Définition	37
6.3	Type de pannes chez CEVITAL	37
6.3.1	Mécanique :	37
6.3.2	Electrique	37
6.3.3	Automatique	38
6.3.4	Instrumental	38
6.3.5	Hydraulique	38
6.3.6	Pneumatique	38
6.4	Historique des pannes de CEVITAL	39
6.5	Conclusion	41

6.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons parler de pannes : définition, types courants chez CEVITAL et de l'historique des pannes recueillit pendant notre stage au sein de ce dernier.

6.2 Définition

Selon nos recherches nous avons trouvé plusieurs définitions, nous en citerons trois :

1. « Arrêt de fonctionnement dans un mécanisme, un moteur ; impossibilité accidentelle de fonctionnée ». Le Robert
2. « Arrêt accidentelle et subit du fonctionnement d'un appareil, d'une installation, d'un véhicule ». LAROUSSE

6.3 Type de pannes chez CEVITAL

Les pannes de machine ou équipement impliquent des pertes de couts,

6.3.1 Mécanique :

Une panne mécanique se produit lorsqu'un système ou un appareil cesse de fonctionner en raison d'un problème physique. Pouvant inclure des défaillances de pièces mobiles, des ruptures de câbles, problèmes de lubrification, des blocages ou des dysfonctionnements dus à l'usure ou à des erreurs humaines.

Exemple :

Mauvais chauffage de l'échangeur E12	CORR	MECA
Mauvais refoulement de la pompe A26 P6	CORR	MECA
L'agitateur grande vitesse T09 est défectueux	CORR	MECA
Fuite d'huile au niveau sortie séparateur	CORR	MECA
Bruit anormal	CORR	MECA

FIG. 6.1 – : Exemple de panne mécanique (Capture du Dataset)

6.3.2 Electrique

Une panne électrique se produit lorsqu'il y a une interruption de l'alimentation électrique, entraînant l'arrêt des appareils qui en dépendent. Cela peut être dû à une coupure de courant, court-circuit, des surtensions ou à d'autres problèmes liés à l'alimentation électrique.

Exemple :

Correction Point chaud (Priorité 01)	CORR	ELEC
Disjonction de la pompe F2P2 A26	CORR	ELEC
Disjonction B20M1	CORR	ELEC
Correction des Points chauds	CORR	ELEC
Défaut d'ouverture de l'électrovanne .F2V10-A26	CORR	ELEC

FIG. 6.2 – Exemple de panne Electrique (Capture du Dataset)

6.3.3 Automatique

appareil ou d'un système automatisé. Cela peut être dû à une défaillance matérielle, une erreur logicielle, un problème de capteur, une interruption de l'alimentation électrique.

Exemple :

Perte de communication	CORR	AUTOM
Détecteur de niveau Haut du C1A27 Défaillant.	CORR	AUTOM
Défaut alimentation automate (ET200)	CORR	AUTOM
Defaut de demarrage de la pompe1701F	CORR	AUTOM
Blocage de la vanne a la position ouvert	CORR	AUTOM
Dysjonction de la vanne de remplissage du bac	CORR	AUTOM

FIG. 6.3 – Exemple de panne automatique (Capture du Dataset)

6.3.4 Instrumental

Une panne instrumentale se réfère généralement à un dysfonctionnement d'un instrument, d'un équipement ou d'un système. Elle peut être causée par divers facteurs notamment des défaillances matérielles, des problèmes électroniques, des erreurs de calibrage, des interférences électromagnétiques, des problèmes logiciels ou des erreurs humaines.

Exemple :

A verifier les detecteurs de niveau des bacs d'acide sulfurique (3)	CORR	INSTRU
Defaut d'affichage du debimettre B20P1.B20 fic-P1	CORR	INSTRU
Défaillace de l'instrument	CORR	INSTRU
Défaut d'affichage du débit de soutirage	CORR	INSTRU

FIG. 6.4 – Exemple de panne instrumentale (Capture du Dataset)

6.3.5 Hydraulique

Ce genre de pannes survient en raison de dysfonctionnement dans le système hydraulique qui alimente la machinerie, il peut résulter d'un manque d'entretien approprié, de l'utilisation de pièces inadaptées ou de l'usure des composants. Les indications de défaillance hydraulique peuvent inclure une diminution du niveau d'huile, une pression hydraulique insuffisante ou des fuites de liquides

COMPTEUR D'ARRIVAGE D'EAU OSMOSEE BLOQUEE	CORR	HYDR
Fuite d air sur le distributeur air S1B20.	CORR	HYDR
Manque d'aspiration d'air	CORR	HYDR
Fuite d'huile au niveau du flexible	CORR	HYDR

FIG. 6.5 – Exemple de panne hydraulique (Capture du Dataset)

6.3.6 Pneumatique

produit quant à elle dans le système pneumatique de la machinerie, elle peut être causée par des fuites d'air.

Des problèmes de valves, des conduites bouchées ou des pièces endommagées. Une défaillance pneumatique peut se manifester par : le manque de pression d'air, une perte d'air comprimé ou des bruits inhabituels.

L'électrovanne V13L0203 ne fonctionne ni en AUTO ni en MANU CORR PNEU
 L'électrovanne V11L0106 ne fonctionne ni en AUTO ni en MANU CORR PNEU
 L'électrovanne V11L0107 ne fonctionne pas en AUTO. CORR PNEU

FIG. 6.6 – Exemple de panne pneumatique (Capture du Dataset)

6.4 Historique des pannes de CEVITAL

Voici ci-dessous une figure représentant un échantillon du Dataset qu'on a pu obtenir de la part du groupe CEVITAL résumant l'historique des pannes dans la partie raffinerie d'huile, qui est composé de 20 colonnes :

- N°OT
- Equipement
- Description
- Equipement
- Equipement Parent
- Code Equipement Système (Niv1)
- Intervention
- Description Panne/Intervention
- Type interv
- Type panne
- Etat
- Superviseur
- Entité
- Date déb.
- Date fin
- Hrs. Réal.
- CoutTotal
- Commentaire
- CODE PROCESS
- Code Zone
- Description Zonne.

N O T	Equi peme nt	Descr iptio n Equi peme nt	Equi peme nt Pare nt	Code Equi peme nt Systè me (Niv1)	Inter venti on	Descr iptio n Pann e/ Inter venti on	Type inter v	Type panne	Etat	Sup er vise ur	Entit é	Date déb.	Date fin	Hrs. Réal.	Cout Total	Com ment aire	COD E PRO CES S	Code Zone	Descr iptio n Zonne
-------------	--------------------	---	----------------------------------	---	----------------------	---	--------------------	---------------	------	-------------------------	------------	--------------	-------------	---------------	---------------	---------------------	-----------------------------	--------------	------------------------------

FIG. 6.7 – capture des noms de colonnes du Dataset

Liste des OT en historique

N°OT	Equipement	Description Equipement	Equipement	Code	Interventi	Description Panne/	Type	Etat	Super	Entit	Date déb	Date fin	Hrs.	Contit	Comme	CODE	Code Zone	Description
2023012211	B3623R1250-02	GROUPE ELECTRO-POMPE ALIMENTAIRE	B7103T0018	B7103T0018	CJRA-323822	Disfonctionnement de la poe CORR	MECA	Z-OT Annulé		BRH	06/02/2023	06/02/2023	0,00	0,00	A2P1	BRH-A26	SECTION A26	
2023012155	B3629T0067	ECHANGEUR A PLAQUES-B20E12	B3629T0067	CJRA-323873	Serrage du condenseur		CORR	AUTOM		BRH	06/02/2023	06/02/2023	0,00	0,00	B20E12	BRH-B20	SECTION B20	
2023010507	B8330T0015	CRISTALLISEUR AVEC REFOIDISSEMENT - 21R1	B8330T0015	CJRA-323851	Défaut de refoulement, à net CORR		CORR	MECA	Z-OT Annulé	BRH	01/02/2023	01/02/2023	0,00	0,00	21R1	BRH-S21	SECTION 21	
2023039497	ATELIER TCE SOUDEUR	ATELIER TCE SOUDEUR	ATELIER TCE	CJRA-323164	Reception de la tôle galvanisée	CHAUDR	V-Validé / Archivable			BRH	30/01/2023	31/01/2023	0,13	#####	ATEL TCE	BRH	UNITE RAFFINE	
2023039468	B3623R0046-09	GROUPE ELECTRO-POMPE DU HOTWE	B7115T0003	B7115T0003	CJRA-323147	Flotteur bloqué	CORR	ELEC		BRH	31/01/2023	31/01/2023	0,67	615,69	- Bouras	BRH-S66	SECTION 66	
2023039467	B8602T0008	SEPARATEUR DE NEUTRALISATION-01-130-002	B8602T0008	CJRA-323146	Défaut de chasse		CORR	ELEC		BRH	29/01/2023	29/01/2023	1,00	923,64	- Bouras	BRH-S500	SECTION 500	
2023039448	B3971T0002	T.G.B.T.4	BRH-TGBT	CJRA-323137	Relevés des consommation		CORR	ELEC		BRH	31/01/2023	31/01/2023	5,00	4 385,69	- Bouras	BRH	UNITE RAFFINE	
2023039368	B7101R001-03	BAC HUILE BRUTE- 1701C	B7101T0008	CJRA-323131	Oier un joint plein circuit de l	MECA	V-Validé / A590047			BRH	27/12/2022	27/12/2022	1,00	0,00	- Billet	BRH-HB	PARC DE STOC	
2023039368	B8780R0002-01	FILTRE A SABLE POUR TRAITEMENT FINALE DES EAU	B8780R0002	CJRA-323129	L'électrovanne(?) contre lav	MECA	V-Validé / A590047			BRH	31/01/2023	31/01/2023	3,00	2 210,62	- Bouras	BRH-STEP	STATION D'EPU	
2023039298	B7101R001-01	BAC HUILE BRUTE- 1701A	B7101T0006	CJRA-323118	Fuite dans une bride	MECA	V-Validé / A110132			BRH	30/01/2023	30/01/2023	5,00	3 870,60	- Bouras	BRH-HB	PARC DE STOC	
2023039283	B3971T0002	T.G.B.T.4	BRH-TGBT	CJRA-323044	Relevés des consommation		CORR	ELEC		BRH	30/01/2023	30/01/2023	2,00	1 614,17	- Bouras	BRH	UNITE RAFFINE	
2023039198	V104-616A2	ELECTROVANNE 2 DU VIBREUR	B662ZT0022	CJRA-323046	Fuite d'huile au niveau du vi	MECA	V-Validé / A590468			BRH	30/01/2023	30/01/2023	3,00	#####	- Dijiali	BRH-S600	SECTION 600	
2023039191	B3629T0067	ECHANGEUR A PLAQUES-B20E12	B3629T0067	CJRA-323044	Démontage des axes	MECA	V-Validé / A590468			BRH	30/01/2023	30/01/2023	1,00	923,64	- Dijiali	BRH-S600	SECTION 600	
2023039189	B3623R000-04	GROUPE ELECTRO-POMPE DE SOUTIF	B662ZT0003	CJRA-323043	Mauvais chauffage de l'éc	MECA	V-Validé / A590468			BRH	30/01/2023	30/01/2023	2,00	1 669,98	- Dijiali	BRH-S20	SECTION B20	
2023039128	B8780R0005-01	AGITATEUR GRANDE VITESSE CUVE	B8780R0004	CJRA-327950	Mauvais refoulement de la p	MECA	V-Validé / A590468			BRH	30/01/2023	30/01/2023	1,00	798,14	- Dijiali	BRH-A26	SECTION A26	
2023039084	B8602T0005	SEPARATEUR NEUTRALISATION/LAVAGE- B20S2	B8602T0005	CJRA-327980	L'agitateur grande vitesse T	MECA	V-Validé / A130289			BRH	29/01/2023	29/01/2023	13,00	8 808,68	- Billet	BRH-STEP	STATION D'EPU	
2023039083	B6301R002-01	MELANGEUR M1 -02-613-701	B6301T0009	CJRA-327979	Fuite d'huile au niveau sortie	MECA	V-Validé / A590468			BRH	30/01/2023	30/01/2023	0,50	1 504,24	- Dijiali	BRH-S20	SECTION B20	
2023039017	B3623R001-01	GROUPE ELECTRO-POMPE CENTRIFU	B7115T0008	CJRA-327913	Disjonction de mélangeur M1	MECA	V-Validé / A110132			BRH	30/01/2023	30/01/2023	36,50	#####	- Bouras	BRH-S500	SECTION 500	
2023039009	B8780R0001	BASSIN TAMPON-B11	B833T0003	CJRA-327912	Bruit anormal	MECA	V-Validé / A130204			BRH	29/01/2023	30/01/2023	14,67	#####	- Allaoua	BRH-S500	SECTION 500	
2023039000	TT_2641A_1	TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	C B8607R9999-008	CJRA-327905	Le flotteur ne réagit pas au r	INSTRU	V-Validé / Archivable			BRH	29/01/2023	31/01/2023	5,33	2 884,75	- Bouras	BRH-STEP	STATION D'EPU	
2023038981	B662ZT0107	FILTRE DE POLISSAGE- 816C1-EX	B662ZT0107	CJRA-327885	Changement des poches/filt	PROD	V-Validé / Archivable			BRH	29/01/2023	29/01/2023	0,00	0,00	816C1-EX	BRH-S800	SECTION 800	
2023038980	B662ZT0108	FILTRE DE POLISSAGE- 816C2-EX	B662ZT0108	CJRA-327884	Changement des poches/filt	PROD	V-Validé / Archivable			BRH	29/01/2023	29/01/2023	0,00	0,00	816C2-EX	BRH-S800	SECTION 800	
2023038969	B662ZT0005	FILTRE A POCHE AMAFILTER- AZF1	B662ZT0005	CJRA-327879	Changement du joint de cou	MECA	V-Validé / A590809			BRH	29/01/2023	29/01/2023	3,00	4 791,20	- Yahia	BRH-A27	SECTION A27	
2023038933	B7103R0009-01	BAC TAMPON DE DECOMPOSITION - 2	B7103T0054	CJRA-327866	Fuite au niveau vanne man	MECA	V-Validé / A130204			BRH	29/01/2023	29/01/2023	4,00	2 322,26	- Yahia	BRH-S24	SECTION 24	
2023038923	TL_881X	INDICATEUR DE TEMPERATURE	B3623R9999-34	CJRA-327862	Défaut d'affichage de la son	ELEC	V-Validé / A590169			BRH	29/01/2023	29/01/2023	3,50	3 233,44	- Slimani	BRH-S800	SECTION 800	
2023038917	B3623R0029-01	GROUPE ELECTRO-POMPE HUILES BR	B7101T0006	CJRA-327850	Défaut d'affichage de la son	ELEC	V-Validé / A590169			BRH	29/01/2023	29/01/2023	1,45	1 339,57	- Slimani	BRH-HB	PARC DE STOC	
2023038908	TL_881B_OUT	TRANSMETTEUR DE TEMPERATURE	B3623R9999-26	CJRA-327857	Disjonction de la pompe	ELEC	V-Validé / A590169			BRH	29/01/2023	29/01/2023	4,50	4 157,28	- Slimani	BRH-S800	SECTION 800	
2023038832	B8602T0010	SEPARATEUR NEUTRALISATION /LAVAGE-	04-120-00	B660ZT0010	CJRA-327836	REGULARISATION POR DE PREV	MECA	V-Validé / A130204		BRH	29/01/2023	29/01/2023	0,17	#####	- Yahia	BRH-S500	SECTION 500	
2023038709	B4684R0010-01	REACTEUR- T503635	B6346T0007	CJRA-327830	Bouchage de l'éjecteur à eau	MECA	V-Validé / A590851			BRH	28/01/2023	28/01/2023	3,33	2 566,93	- Farid	BRH-S600	SECTION 600	

6.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé de l'analyse prédictive en se basant sur les points suivants :

1. Analyse de données
2. Types d'analyse de données
3. Analyse prédictive
4. Les étapes clés de l'analyse prédictive
5. Domaine d'utilisation de l'analyse prédictive
6. Type de modèles d'analyse prédictive

Application de l'analyse prédictive (cas CEVITAL) Dans celui qui suit nous allons nous concentrer sur l'historique et les pannes.

Chapitre 7

RÉALISATION et SIMULATION

Sommaire

7.1	Introduction	44
7.2	Présentation du simulateur Cisco packet Tracer 8.2.1	44
7.3	Architecture du réseau CEVITAL	46
7.4	Nomination des VLANs	46
7.5	Plan d'adressage	46
7.6	Interface commande de Packet Tracer	47
7.7	Configuration des équipements	47
7.7.1	Configuration du Hostname	48
7.7.2	Sécuriser l'accès aux périphériques	48
7.7.3	Configuration du protocole VTP	48
7.7.4	Création des VLANs	49
7.7.5	Configuration des liens trunk	50
7.7.6	Attribution des ports de commutateurs au VLANs	50
7.7.7	Configuration du DHCP	51
7.8	Vérification et tests de validation	52
7.8.1	Vérification	52
7.8.2	Contrôle de la bonne configuration du protocole VTP	52
7.9	Contrôle des réseaux locaux virtuels créés sur le switch server s'ils ont bien été distribués sur les switchs clients	53
7.10	Vérification routage inter VLAN	54
7.11	Vérification IP et DHCP	54
7.12	Test de validation	55
7.13	Vérification de la communication entre les équipements d'interconnexion	55
7.14	Vérification VLAN	56
7.15	Présentation de notre projet sur Packet Tracer :	59
7.16	Simulation :	59
7.16.1	Scénario 1 : configuration des ports extérieur et intérieur de CEVITAL en utilisant les sirène et détecteur de mouvement et de la webcam	59
7.16.2	Scénario 2 : configuration du système de détection de CO2	70
7.16.3	Scénario 3 : Système de détection de fumée	73
7.16.4	Sénario 4 :Schéma global du contrôle à distance de l'architecture	75
7.17	Dispositifs utilisés pour la conception	78

7.17.1 Test de connexion 78
7.18 Conclusion : **79**

7.1 Introduction

Ce présent chapitre consistera à mettre en oeuvre les solutions proposées pour la réalisation de notre projet, en exposant les différentes configurations nécessaires à implémenter sur le LAN. Ces configurations entourent entre la configuration des VLANs, VTP, et DHCP et les objets connectée IOT en se basant sur le simulateur Cisco packet tracer. Pour présenter les configurations que nous avons réalisées, nous nous sommes servis des captures d'écran qui illustrent les étapes de la configuration afin d'éclaircir chaque composant de cette dernière et son fonctionnement. Enfin, des tests de validation pour confirmer le bon fonctionnement du réseau seront réalisés.

7.2 Présentation du simulateur Cisco packet Tracer 8.2.1

Le simulateur Cisco Packet Tracer est un outil de simulation réseau développé par Cisco Systems. Il est utilisé dans le cadre de l'apprentissage et de la pratique des compétences en réseau, en particulier pour les étudiants en informatique et les professionnels des réseaux.

La version 8.2.1 de Cisco Packet Tracer est une mise à jour du logiciel, introduisant de nouvelles fonctionnalités et améliorations par rapport aux versions précédentes.



FIG. 7.1 – Capture de simulateur Cisco Packet Tracer 8.2.1

Première partie

**SIMULATION DE RESEAUX LOCAL DE
CEVITAL**

7.3 Architecture du réseau CEVITAL

Voici donc le modèle d'architecture adopté pour le réseau de CEVITAL.

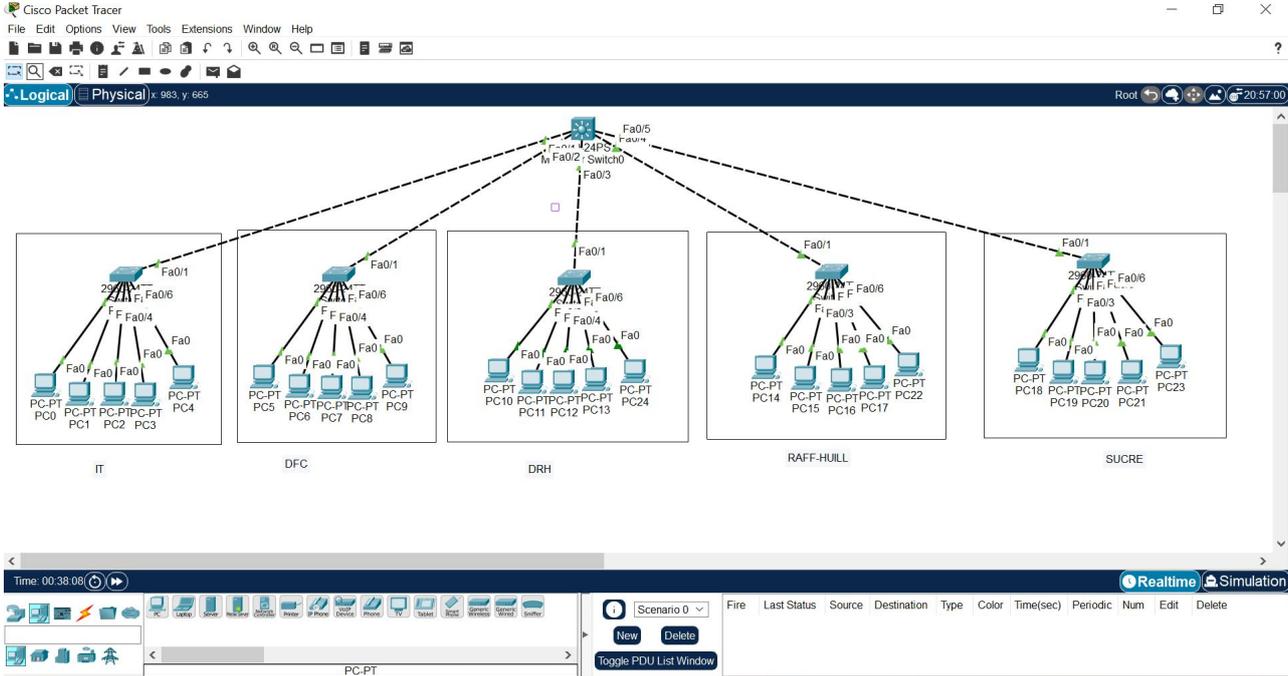


FIG. 7.2 – Modèle d'architecture réseau Cevital.

7.4 Nomination des VLANs

L'organisation réseau se fera en le segmentant à l'aide des VLANs. Chaque section du réseau représente un VLAN. Par conséquent, il y'aura naissance de 5 VLANs à savoir :

ID	VLAN	Description
2	IT	Information technology
3	DFC	Direction des finances et comptabilité
4	DRH	Direction des ressources humaines
5	Ra□-huile	Ra□nerie d'huile
6	SUCRE	/

TAB. 7.1 – Nomination des VLANs de l'entreprise.

7.5 Plan d'adressage

L'adresse du réseau est 10.20.0.0/24 avec une possibilité de création de 255 sous-réseaux, avec un masque 255.255.255.0

Les machines affiliées à un VLAN, vont prendre toute les adresses IP d'une même adresses sous-réseau.

Nom VLAN	VLAN-id	Adresse sous-réseau
IT	2	10.20.2.254/24
DFC	3	10.20.3.254/24
DRH	4	10.20.4.254/24
RAFF-HUIL	5	10.20.5.254/24
SUCRE	6	10.20.6.254/24

TAB. 7.2 – Plan d’adressage des VLANs

7.6 Interface commande de Packet Tracer

Toutes les configurations des équipements du réseau seront réalisées au niveau de CLI (Command Line Interface) (Figure 7.3). CLI est une interface de simulateur Packet Tracer qui permet la configuration des équipements du réseau à l’aide d’un langage de commandes, c’est-à-dire que c’est à partir des commandes introduites par l’utilisateur du logiciel que la configuration est réalisée.

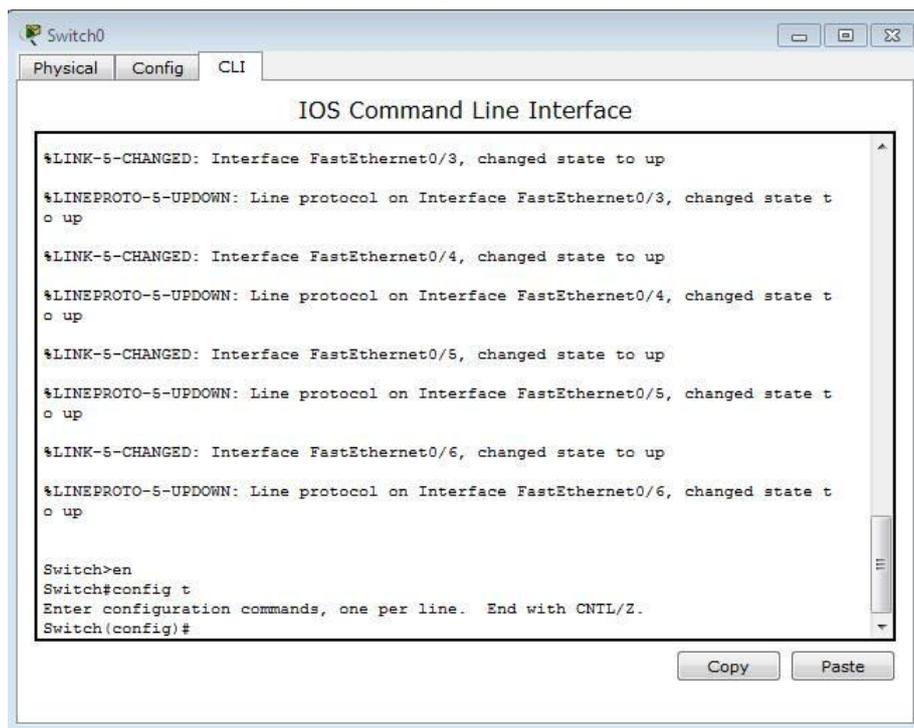


FIG. 7.3 – Interface CLI

7.7 Configuration des équipements

Dans ce qui suit, nous allons présenter la configuration en général de quelques équipements qui vont nous permettre de mettre en place l’architecture proposé, pour cela on suit les étapes Suivantes :

7.7.1 Configuration du Hostname

Cette étape permet de donner un nom significatif à l'ensemble des équipements constituant le réseau y compris Switch-dist1 en utilisant la commande Hostname.

```
Switch>en
Switch#configure te
Switch#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#hostname sw-core
sw-core(config)#
```

FIG. 7.4 – Exemple de nomination switch-core sw-core .

7.7.2 Sécuriser l'accès aux périphériques

Il faut savoir qu'IOS (International Standardization Organization) utilise des modes organisés hiérarchiquement pour faciliter la protection des périphériques. Dans le cadre de ce dispositif de sécurité, IOS peut accepter plusieurs mots de passe, ce qui nous permet d'établir différents privilèges d'accès aux périphériques (Figure 7.5).

```
sw-core(config)#line console 0
sw-core(config-line)#password cisco
sw-core(config-line)#login
sw-core(config-line)#enable secret cisco
sw-core(config)#line vty 0 15
sw-core(config-line)#password cisco
sw-core(config-line)#login
sw-core(config-line)#end
sw-core#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
```

FIG. 7.5 – configuration des mots passe

7.7.3 Configuration du protocole VTP

Le switch cœur de LAN sera configurés comme un serveur -VTP. Donc, ces lui qui gèrent l'administration de l'ensemble des VLANs. Un nom de domaine est attribué. La figure représente la configuration du serveur VTP au niveau du switch-core.

```
Enter configuration commands, one per line. End with
sw-core(config)#vtp mode server
Device mode already VTP SERVER.
sw-core(config)#vtp domain CEVITAL?
WORD
sw-core(config)#vtp domain CEVITAL.com
Changing VTP domain name from NULL to CEVITAL.com
sw-core(config)#vtp password cisco
Setting device VLAN database password to cisco
sw-core(config)#end
sw-core#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
wr
```

FIG. 7.6 – Configuration VTP-Serveur

La configuration des clients-VTP sera au niveau de tous les commutateurs Accès (Figure 7.7).

```

Switch>en
Switch#conf
Switch#configure t
Switch#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
Switch(config)#vtp mode client
Setting device to VTP CLIENT mode.
Switch(config)#vtp domain CEVITAL.com
Domain name already set to CEVITAL.com.
Switch(config)#vtp password cisco
Setting device VLAN database password to cisco
Switch(config)#

```

FIG. 7.7 – Configuration du VTP-Client

7.7.4 Création des VLANs

La création des VLANs est faite au niveau des commutateurs multifonctions (server VTP) comme le montre la figure :

```

sw-core#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
sw-core(config)#vlan 2
sw-core(config-vlan)#name IT
sw-core(config-vlan)#exit
sw-core(config)#int vlan 2
sw-core(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Vlan2, changed state to up

sw-core(config-if)#ip address 10.20.2.254 255.255.255.0
sw-core(config-if)#no shut down
sw-core(config-if)#no shutdown
sw-core(config-if)#exit
sw-core(config)#vlan 3
sw-core(config-vlan)#name DFC
sw-core(config-vlan)#exit
sw-core(config)#int vlan 3
sw-core(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Vlan3, changed state to up

sw-core(config-if)#ip address 192.20.3.254 255.255.255.0
sw-core(config-if)#no shutdown
sw-core(config-if)#exit
sw-core(config)#vlan 4
sw-core(config-vlan)#name DRH
sw-core(config-vlan)#exit
sw-core(config)#int vlan 4
sw-core(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Vlan4, changed state to up

sw-core(config-if)#ip address 192.20.4.254 255.255.255.0
sw-core(config-if)#no shutdown
sw-core(config-if)#exit

```

```

sw-core(config)#vlan 5
sw-core(config-vlan)#name RAFF-HUILL
sw-core(config-vlan)#exit
sw-core(config)#int vlan 5
sw-core(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Vlan5, changed state to up

sw-core(config-if)#ip address 192.20.5.254 255.255.255.0
sw-core(config-if)#no shutdown
sw-core(config-if)#exit
sw-core(config)#vlan 6
sw-core(config-vlan)#name SUCRE
sw-core(config-vlan)#exit
sw-core(config)#int vlan 6
sw-core(config-if)#
%LINK-5-CHANGED: Interface Vlan6, changed state to up

sw-core(config-if)#ip address 192.20.6.254 255.255.255.0
sw-core(config-if)#no shutdown
sw-core(config-if)#exit
sw-core(config)#

```

FIG. 7.8 – Création des VLANs sur le serveur VTP(vlan5;vlan6)

7.7.5 Configuration des liens trunk

Les interfaces des équipements d'interconnexion à configurer en mode trunk, existent toutes entre l'ensemble des commutateurs Accès et le commutateur coeur. Les commandes suivantes nous permettent d'associer un port à un VLAN en mode trunk en s'aidant de la commande "range" qui pourra réunir toutes les interfaces en une seule fois (Figure 7.9) :

```

sw-core#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
sw-core(config)#interface range fa 0/1-5
sw-core(config-if-range)#switchport trunk encapsulation dot1q
sw-core(config-if-range)#switchport trunk
% Incomplete command.
sw-core(config-if-range)#switchport mode trunk

sw-core(config-if-range)#
%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to down

%LINEPROTO-5-UPDOWN: Line protocol on Interface FastEthernet0/1, changed state to up

```

FIG. 7.9 – Configuration des liens trunk

7.7.6 Attribution des ports de commutateurs au VLANs

C'est au niveau de chaque commutateur Accès que les ports vont être assignés aux différents VLANs existants. En effet, chaque port d'un commutateur appartiendra à un VLAN donné. Les commandes suivantes nous permettent d'associer un port à un VLAN en mode Accès (Figure 7.10)

```

Switch(config)#int range fa 0/2-6
Switch(config-if-range)#switchport mode access
Switch(config-if-range)#switchport access vlan 2
Switch(config-if-range)#

```

FIG. 7.10 – Attribution des ports au VLANs

Après avoir configuré les interfaces VLANs Il faut ensuite activer la fonction de routage et enregistrer (Figure 7.11) :

```

sw-core(config)#ip routing
sw-core(config)#end
sw-core#
%SYS-5-CONFIG_I: Configured from console by console
wr
Building configuration...
[OK]

```

FIG. 7.11 – Routage inter VLAN

7.7.7 Configuration du DHCP

Afin de simplifier à l'administrateur la gestion et l'attribution des adresses IP, on utilise le protocole DHCP qui permet de configurer les paramètres réseaux clients, au lieu de les configurer sur chaque ordinateur client. La figure illustre les commandes qui nous permettent de configurer ce protocole au niveau du serveur (Figure 7.12) :

```

sw-core#conf t
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
sw-core(config)#ip dhcp pool IT
sw-core(dhcp-config)#network 10.20?
A.B.C.D
sw-core(dhcp-config)#network 10.20.2.0 255.255.255.0
sw-core(dhcp-config)#default-router 10.20.2.254
sw-core(dhcp-config)#exit
sw-core(config)#ip dhcp pool DFC
sw-core(dhcp-config)#network 10.20.3.0 255.255.255.0
sw-core(dhcp-config)#default-router 10.20.3.254
sw-core(dhcp-config)#exit
sw-core(config)#ip dhcp pool DRH
sw-core(dhcp-config)#network 10.20.4.0 255.255.255.0
sw-core(dhcp-config)#default-router 10.20.4.254
sw-core(dhcp-config)#exit
sw-core(config)#ip dhcp pool RAFF-HUILL
sw-core(dhcp-config)#network 10.20.5.0 255.255.255.0
sw-core(dhcp-config)#default-router 10.20.5.254
sw-core(dhcp-config)#exit
sw-core(config)#ip dhcp pool SUCRE
sw-core(dhcp-config)#network 10.20.6.0 255.255.255.0
sw-core(dhcp-config)#default-router 10.20.6.254
sw-core(dhcp-config)#exit

```

FIG. 7.12 – Configuration du DHCP

Après la configuration DHCP du serveur, à présent nous allons configurer les PC :

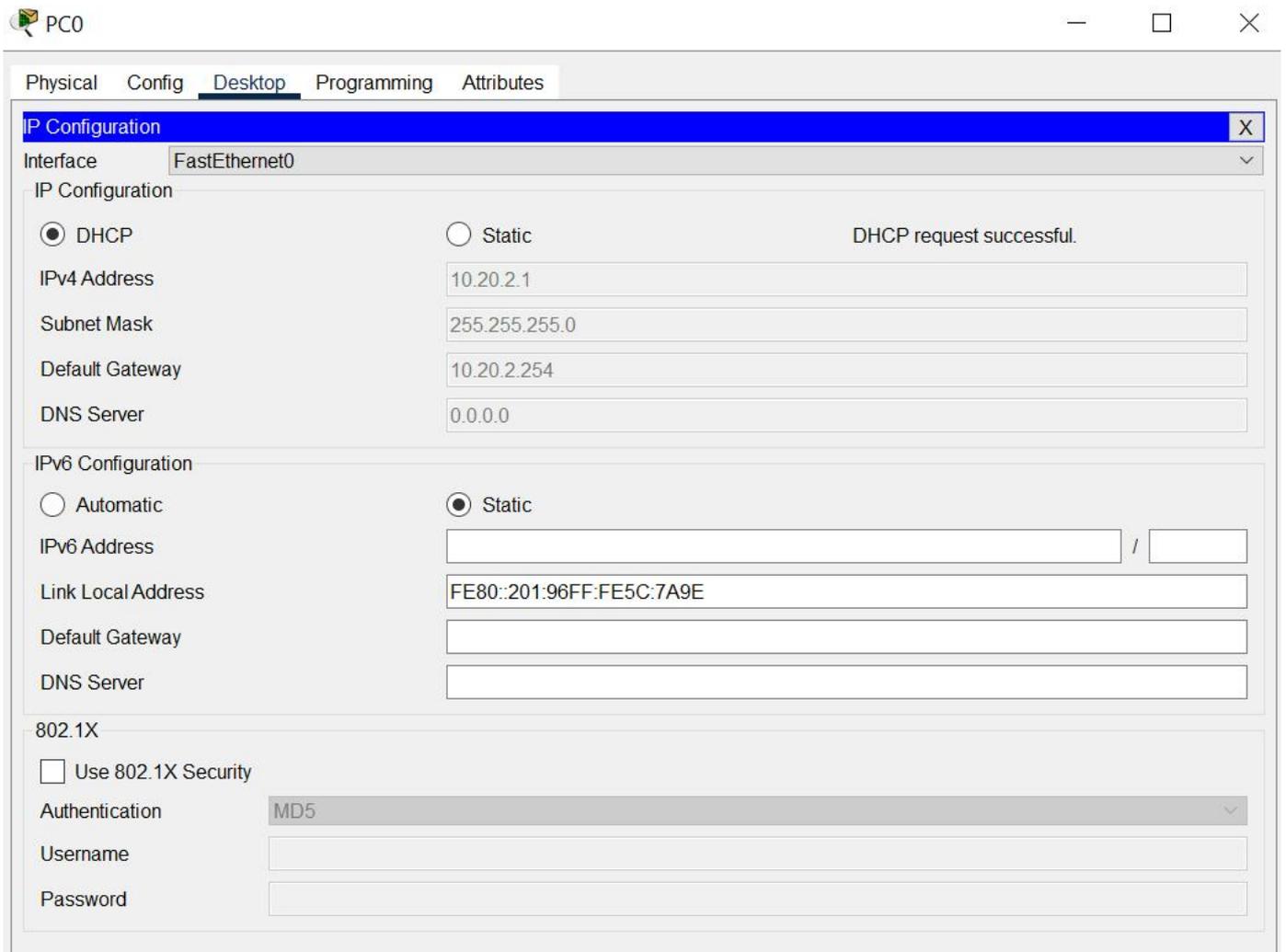


FIG. 7.13 – Configuration du DHCP sur les PC

7.8 Vérification et tests de validation

7.8.1 Vérification

Dans cette partie nous avons vérifié la configuration de tous les équipements à l'aide des commandes de vérification.

7.8.2 Contrôle de la bonne configuration du protocole VTP

Contrôle du VTP server en utilisant la commande "show vtp statu" sur le switch Multilayer (Figure 7.14) :

```

sw-core>en
sw-core#show vtp statu
VTP Version capable      : 1 to 2
VTP version running     : 1
VTP Domain Name         : cevital.com
VTP Pruning Mode        : Disabled
VTP Traps Generation    : Disabled
Device ID               : 00E0.A360.7E00
Configuration last modified by 0.0.0.0 at 2-28-93 11:00:00
Local updater ID is 10.20.2.254 on interface Vl2 (lowest numbered VLAN interface found)

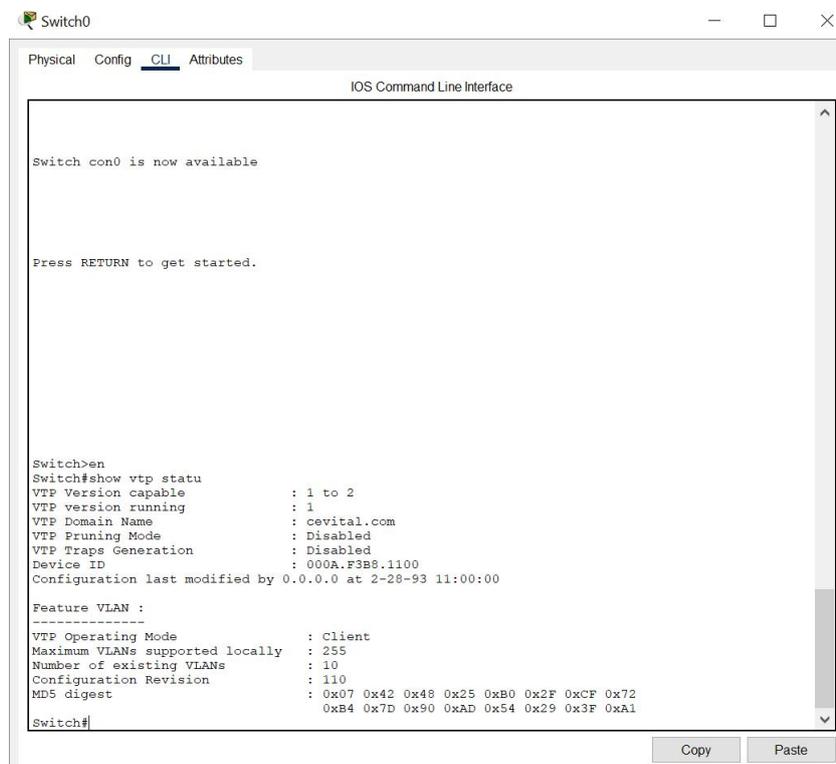
Feature VLAN :
-----
VTP Operating Mode      : Server
Maximum VLANs supported locally : 1005
Number of existing VLANs : 10
Configuration Revision  : 110
MD5 digest              : 0x07 0x42 0x48 0x25 0xB0 0x2F 0xCF 0x72
                        : 0xB4 0x7D 0x90 0xAD 0x54 0x29 0x3F 0xA1
sw-core#

```

Copy

FIG. 7.14 – Test VTP server

Contrôle du VTP client en utilisant la commande "show vtp statu" sur le switch0 (Figure 7.15) :



```

Switch0
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

Switch con0 is now available

Press RETURN to get started.

Switch>en
Switch#show vtp statu
VTP Version capable      : 1 to 2
VTP version running     : 1
VTP Domain Name         : cevital.com
VTP Pruning Mode        : Disabled
VTP Traps Generation    : Disabled
Device ID               : 000A.F388.1100
Configuration last modified by 0.0.0.0 at 2-28-93 11:00:00

Feature VLAN :
-----
VTP Operating Mode      : Client
Maximum VLANs supported locally : 255
Number of existing VLANs : 10
Configuration Revision  : 110
MD5 digest              : 0x07 0x42 0x48 0x25 0xB0 0x2F 0xCF 0x72
                        : 0xB4 0x7D 0x90 0xAD 0x54 0x29 0x3F 0xA1
Switch#

```

Copy

Paste

FIG. 7.15 – Test VTP client

7.9 Contrôle des réseaux locaux virtuels créés sur le switch serveur s'ils ont bien été distribués sur les switches clients

Après avoir créé les VTP nous allons passer à la vérification de la distribution des VLANs dans les switches clients, nous nous sommes servis de la commande "show vlan brief" (Figure 7.16) :

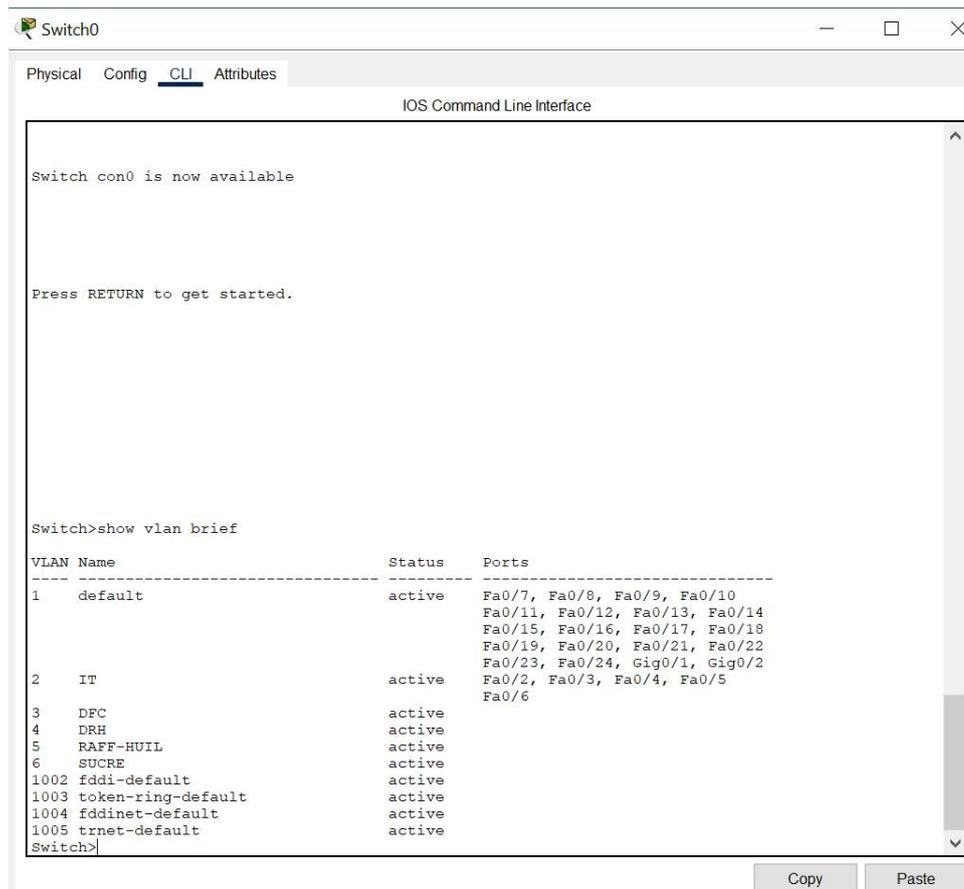


FIG. 7.16 – VLANs distribués sur le switch0 Client

7.10 Vérification routage inter VLAN

A l'aide de la commande "show IP interface brief", on peut voir l'attribution des adresses IP sur les VLANs (Figure 7.17) :

```

GigabitEthernet0/2    unassigned    YES unset    down        down
Vlan1                 unassigned    YES unset    administratively down down
Vlan2                 10.20.2.254   YES manual   up          up
Vlan3                 10.20.3.254   YES manual   up          up
Vlan4                 10.20.4.254   YES manual   up          up
Vlan5                 10.20.5.254   YES manual   up          up
Vlan6                 10.20.6.254   YES manual   up          up
sw-core#

```

FIG. 7.17 – Attribution des adresses IP sur les VLANs

7.11 Vérification IP et DHCP

Il est possible de vérifier que chaque poste a bien récupéré une adresse DHCP à l'aide de la commande "show IP DHCP binding" (Figure 7.18) :

```

sw-core>en
sw-core#show ip dhcp binding
IP address      Client-ID/      Lease expiration  Type
                Hardware address
10.20.2.1       0001.965C.7A9E  --                Automatic
10.20.2.2       00D0.9752.CEB9  --                Automatic
10.20.2.3       000C.CFC3.ADC2  --                Automatic
10.20.2.4       00E0.F738.7506  --                Automatic
10.20.2.5       0060.5CCB.17A0  --                Automatic
10.20.3.1       0060.7022.E90A  --                Automatic
10.20.3.2       0001.C96E.2D7B  --                Automatic
10.20.3.3       0090.0C78.A430  --                Automatic
10.20.3.4       0001.63BA.D42E  --                Automatic
10.20.3.5       0006.2A46.51CB  --                Automatic
10.20.4.1       0003.E483.00E3  --                Automatic
10.20.4.2       0030.A37B.1A03  --                Automatic
10.20.4.3       0030.A372.79DC  --                Automatic
10.20.4.4       00D0.58CB.2242  --                Automatic
10.20.4.5       0001.C96C.5668  --                Automatic
10.20.5.1       000C.8581.535D  --                Automatic
10.20.5.2       0004.9A34.85C6  --                Automatic
10.20.5.3       0060.4774.BBD1  --                Automatic
10.20.5.4       0003.E42A.38AE  --                Automatic
10.20.5.5       0030.F299.D306  --                Automatic
10.20.6.1       0006.2AD8.E42C  --                Automatic
10.20.6.2       000A.F351.6240  --                Automatic
10.20.6.3       00D0.FF56.346E  --                Automatic
10.20.6.4       0001.4300.BD6B  --                Automatic
10.20.6.5       00D0.D357.046A  --                Automatic
sw-core#

```

FIG. 7.18 – Attribution des adresses IP sur le serveur DHCP

7.12 Test de validation

Dans cette partie, l'ensemble des tests de validation consiste à vérifier l'accessibilité de l'ensemble des équipements en utilisant la commande "Ping" qui teste la réponse d'un équipement sur le réseau. Donc, si un équipement veut communiquer avec un autre, le Ping permet d'envoyer des paquets au destinataire. Si l'équipement récepteur reçoit ces paquets donc la communication est réussie.

7.13 Vérification de la communication entre les équipements d'interconnexion

On teste les communications inter-switchs et entre switch et switch multifonctions. Exemple : Test réussi entre le switch multilayer et le switch d'accès (Figure 7.19) :

```
Multilayer Switch0
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface
sw-core>
sw-core>
sw-core>
sw-core>
sw-core>
sw-core>exit

sw-core con0 is now available

Press RETURN to get started.

sw-core>ping 10.20.2.254

Type escape sequence to abort.
Sending 5, 100-byte ICMP Echos to 10.20.2.254, timeout is 2 seconds:
!!!!
Success rate is 100 percent (5/5), round-trip min/avg/max = 0/17/50 ms

sw-core>
```

FIG. 7.19 – test entre le switch multilayer et le switch d'accès

7.14 Vérification VLAN

Test entre pc VLANs différents sur un même commutateur : A ce stade, vérifiant l'accessibilité des différents équipements dans un même réseau mais dans deux VLANs distincts à partir du PC5. (10.20.3.1) en essayant d'accéder au PC8 (10.20.3.4). La figure 7.20 illustre le succès du test effectué entre les différents VLANs sur un même commutateur.

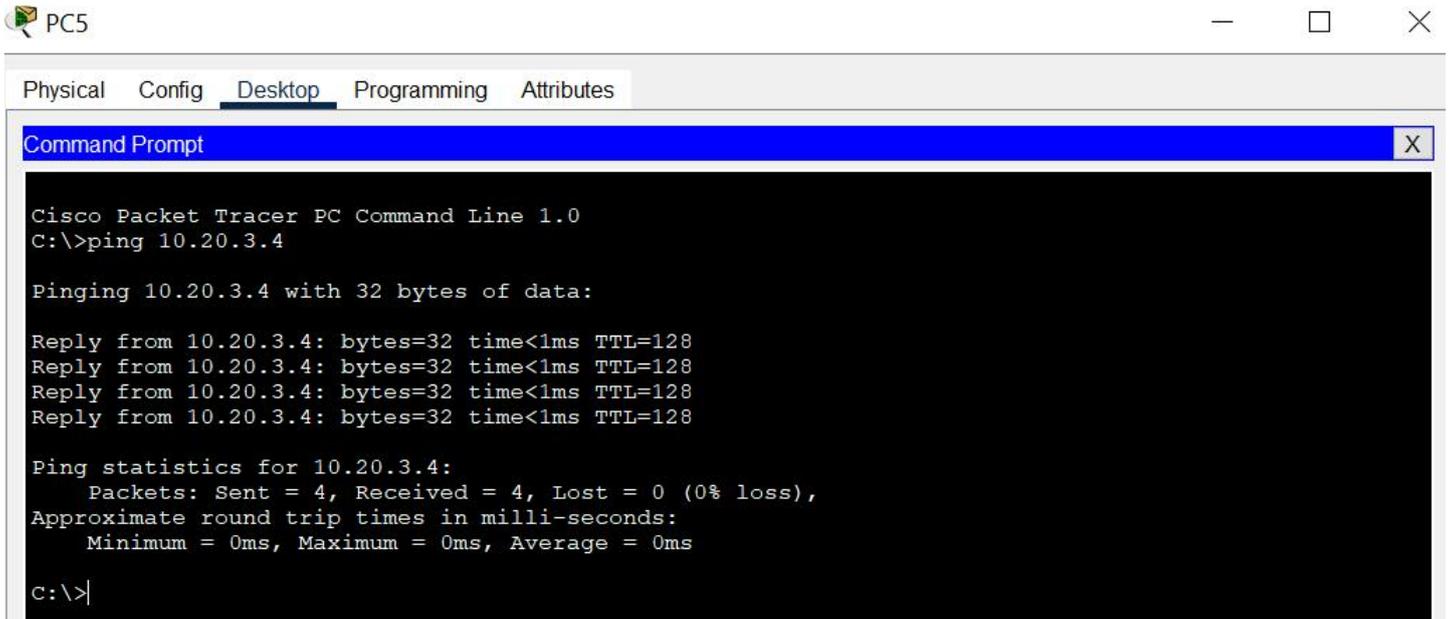


FIG. 7.20 – Test entre PC VLANs différents.

Test entre PC de VLAN et commutateur distincts : Vérifions l’accessibilité des équipements du même VLAN situés dans un réseau local commun. Depuis le PC12(10.20.4.3), essayons d’accéder au PC14 (10.20.5.1) tel que, les deux se trouvent dans des VLANs et des commutateurs Accès différents (Figure 7.21) :

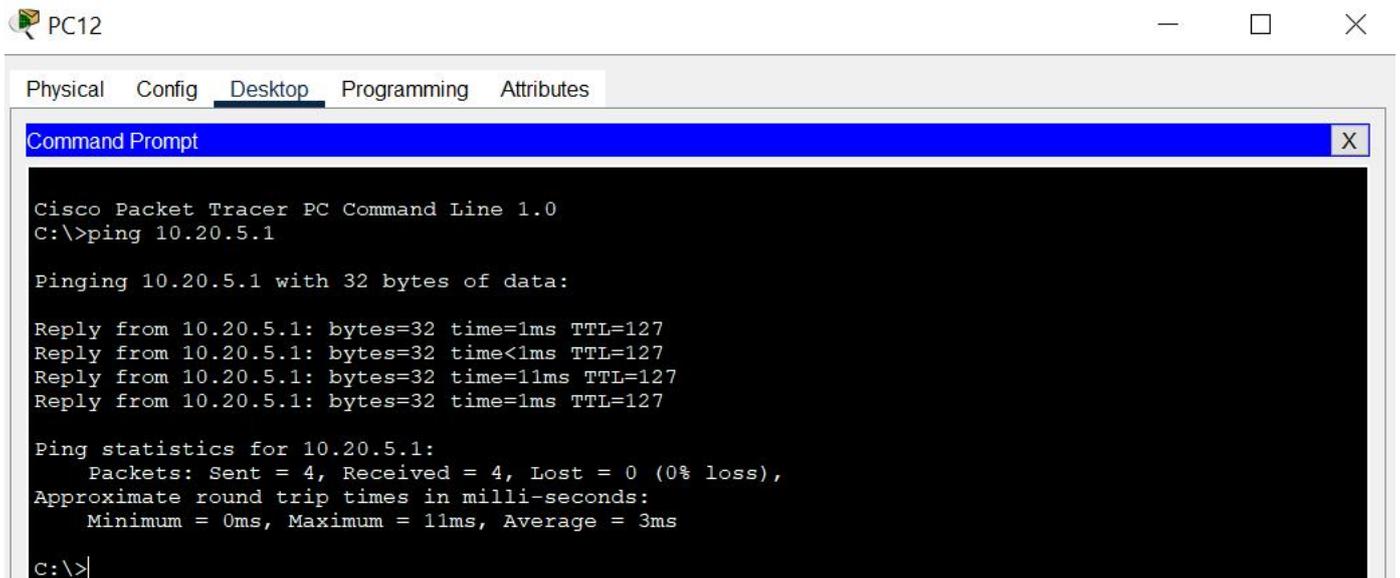


FIG. 7.21 – Test entre PC de VLAN et commutateur distincts

Deuxième partie

INTEGRATION ET SIMULATION DE L' IOT DANS LE RESEAUX LOCAL DE CEVITAL

7.15 Présentation de notre projet sur Packet Tracer :

Notre projet consiste à Proposer une nouvelle architecture réseau (informatique et industriel) qui prend en considération les lots et les principes de base de l'industrie 4.0. Nous allons présenter la partie simulation effectuée avec le logiciel **Cisco Packet Tracer8.2**. Notre travail consiste à implémenter un réseau de communication d'appareils avec des objets connecter dans le réseau local de CEVITAL. La Figure ... représente une vue globale de la manière dont l'architecture sera connectée :

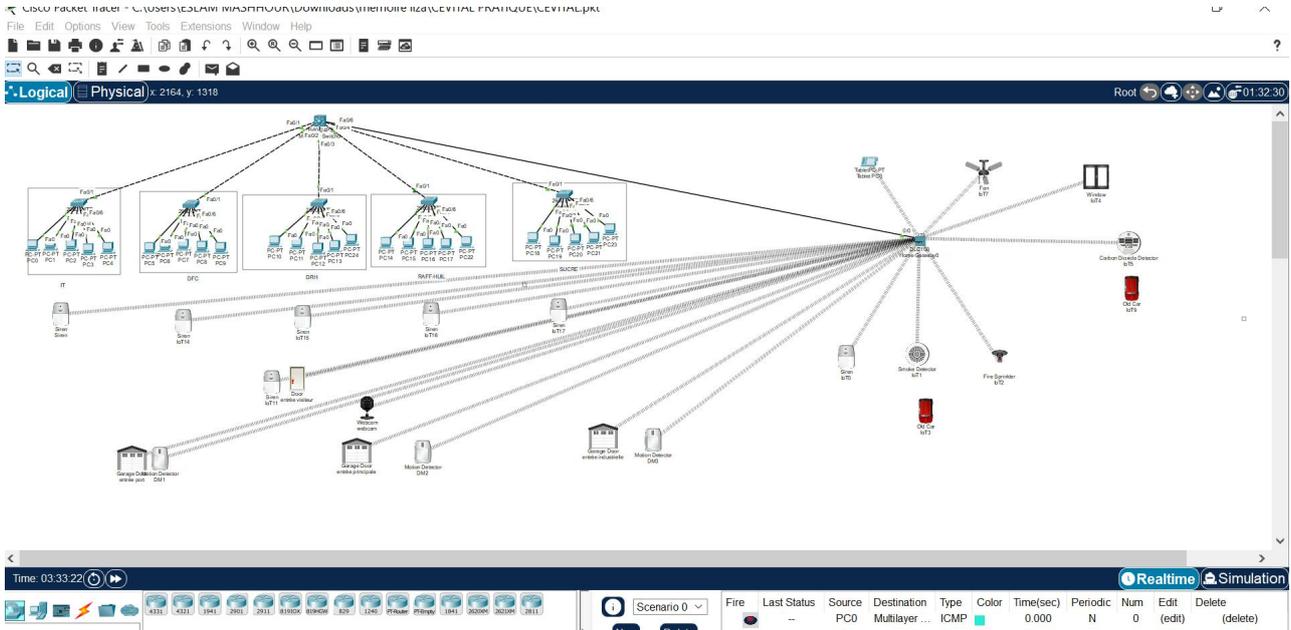


FIG. 7.22 – vue l'ensemble de connexion de l'architecture

7.16 Simulation :

7.16.1 Scénario 1 :configuration des ports extérieur et intérieur de CEVITAL en utilisant les sirène et détecteur de mouvement et de la webcam

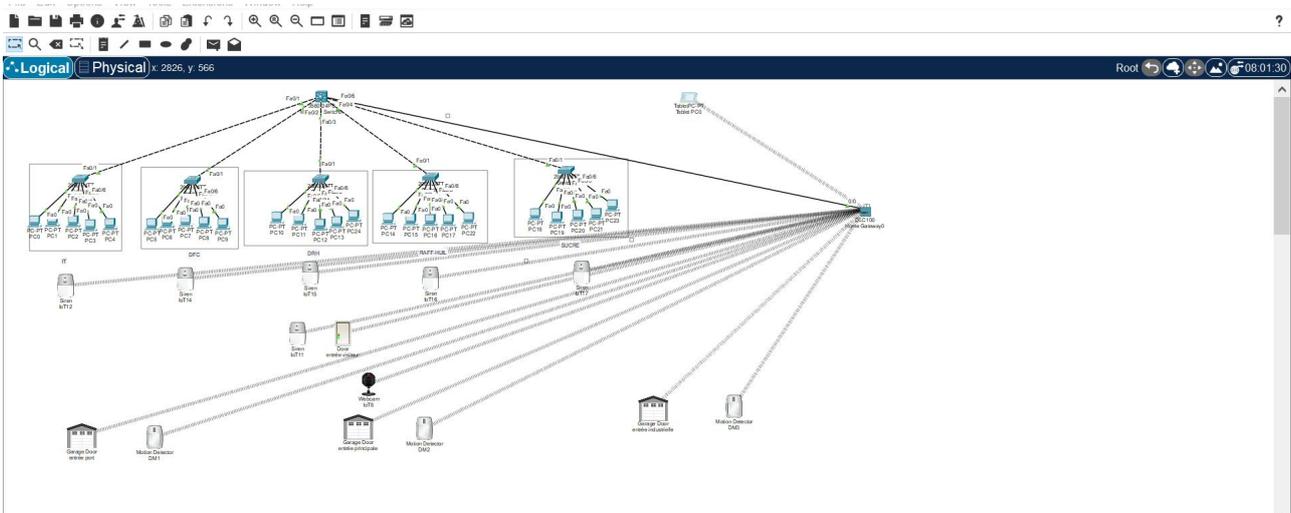


FIG. 7.23 – configuration des ports extérieur et interne de CEVITAL

7.16.1.1 Configuration de la passerelle domestique (Home Gateway)

- Ajouter une passerelle domestique.
- Sélectionner le périphérique Home Gateway.
- Cliquer sur l'icône Wireless et enregistrer le SSID (voir figure 7.24). Puis sur LAN pour introduire l'adresse IP du LAN et le masque sous réseau 'a la passerelle (voir figure 7.25).

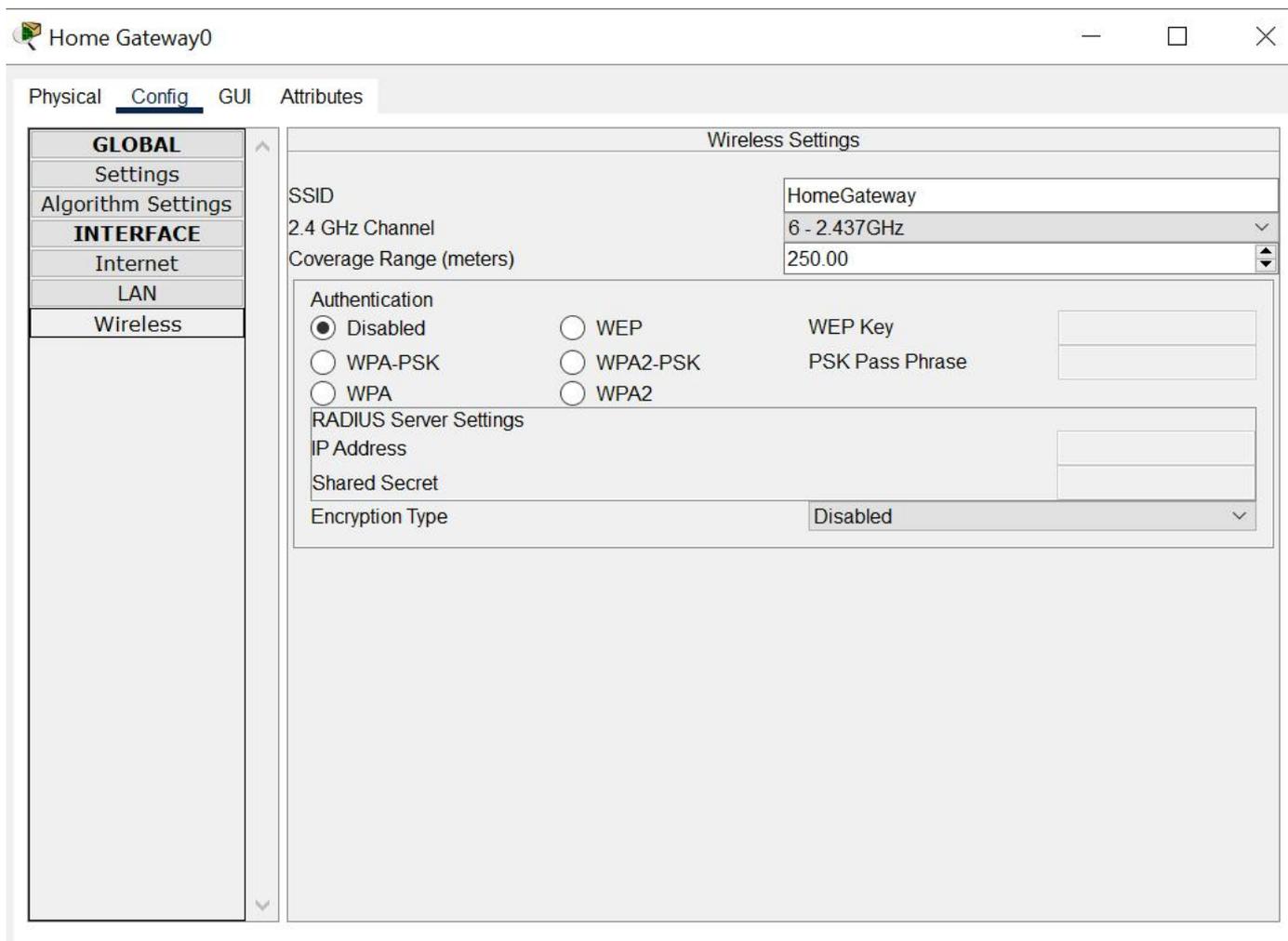


FIG. 7.24 – configuration de la passerelle

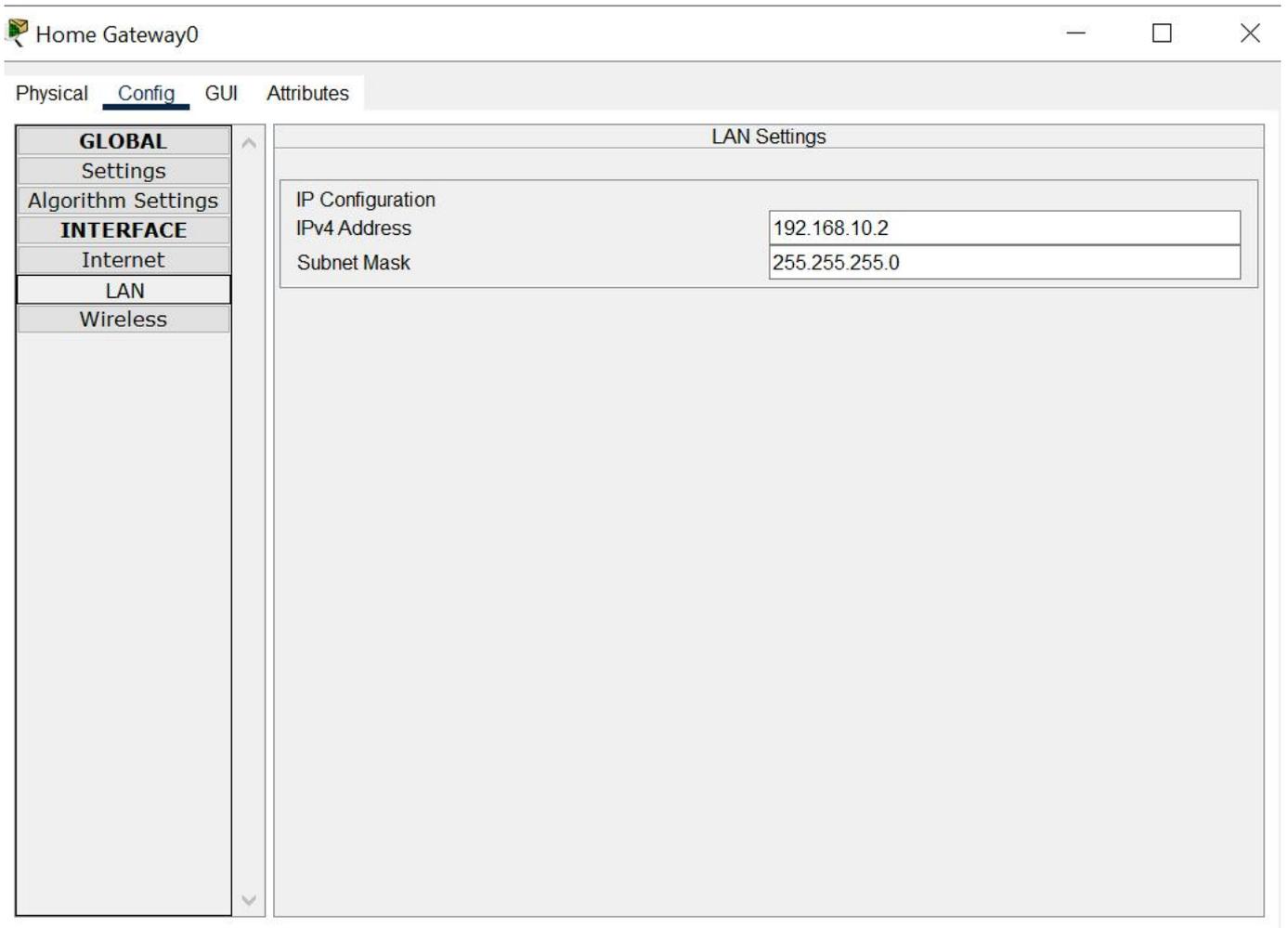


FIG. 7.25 – introduire l’adresse IP du LAN et le masque sous réseau ‘a la passerelle

7.16.1.2 Configuration du récepteur distant : TabletPC-PT

Pour configurer le laptop, nous avons suivi les étapes suivantes :

- Ajouter TabletPC-PT.
- Cliquer sur ‘TabletPC-PT’ puis sur ‘config’.
- Cliquer ‘ Wireless0’ puis changer le SSID et taper ‘Home Gateway’ (voir figure 7.26).

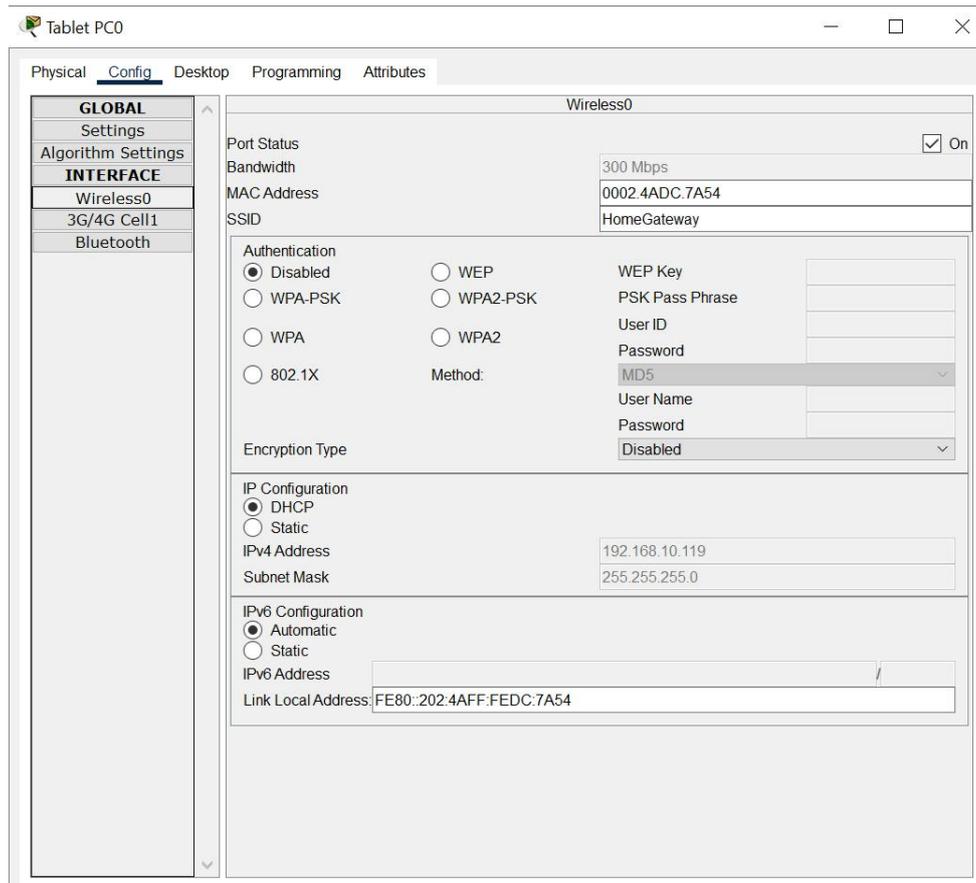


FIG. 7.26 – Configuration de TabletPC-PT

Authentication : Sur la Tablet Pc0 et dans 'Desktop' choisir sur 'Web Browser'. Dans la fenêtre qui apparaît, on Clique sur la l'adresse IP de de la passerelle (Gateway) puit sur 'Go '.

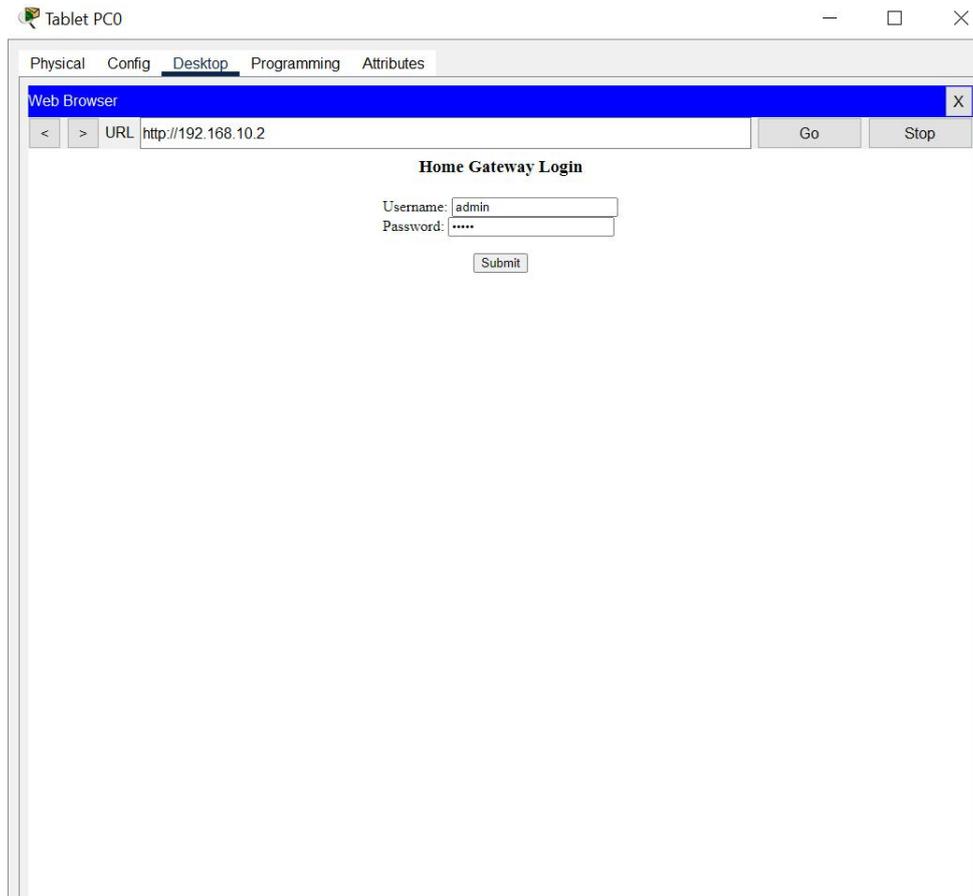


FIG. 7.27 – Authentification

7.16.1.3 Configuration de périphériques finaux :

Après la configuration du Home Gateway et le Laptop ajouter les périphériques : Détecteur de mouvement, Sirén et Webcam.

1. **Configuration et programmation du détecteur de mouvement** : Pour configurer le détecteur de mouvement, nous avons suivi les étapes suivantes :
 - Ajouter 'Détecteur de mouvement'.
 - Cliquer sur 'détecteur de mouvement DM1' puis sur 'Advanced' puis sur 'I/O Config' et Sélectionner la carte Wifi pour la connexion sans fil du détecteur de mouvement. (**voir figure 7.28**)
 - Cliquer sur 'Config' pour enregistrer le détecteur de mouvement dans le HomeGateway (**voir figure 7.29**).

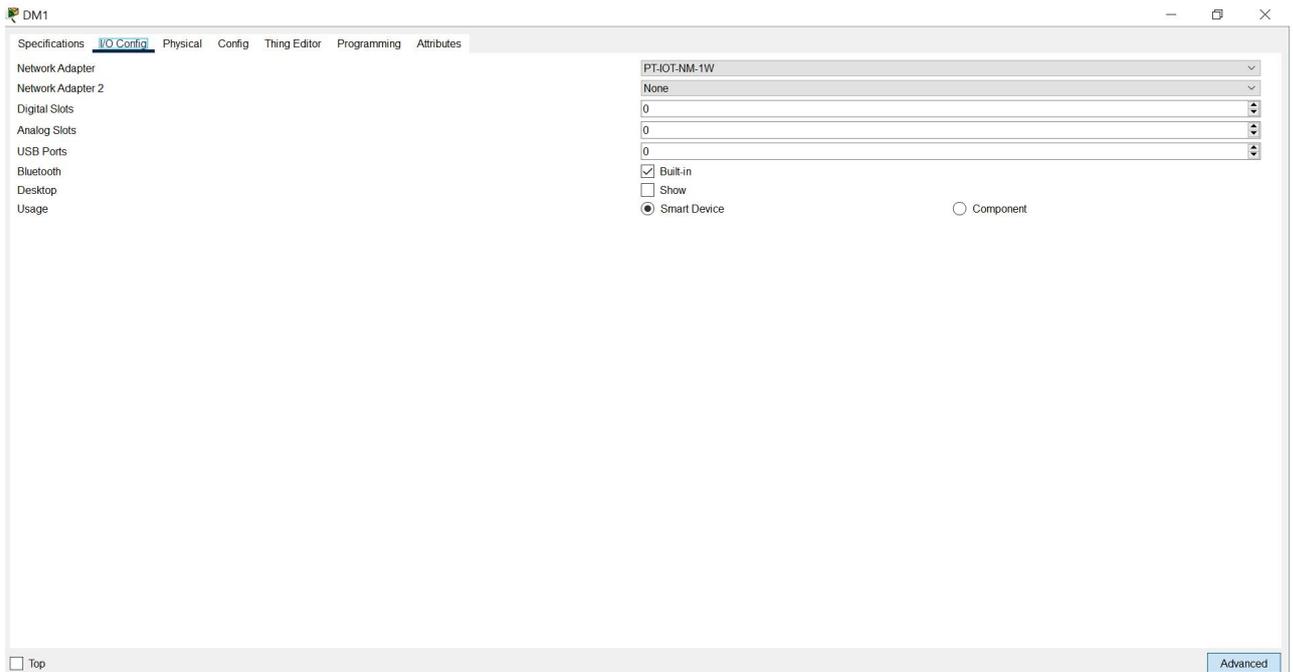


FIG. 7.28 – S’électionner la carte Wifi pour la connexion sans fil du d’ détecteur de mouvement

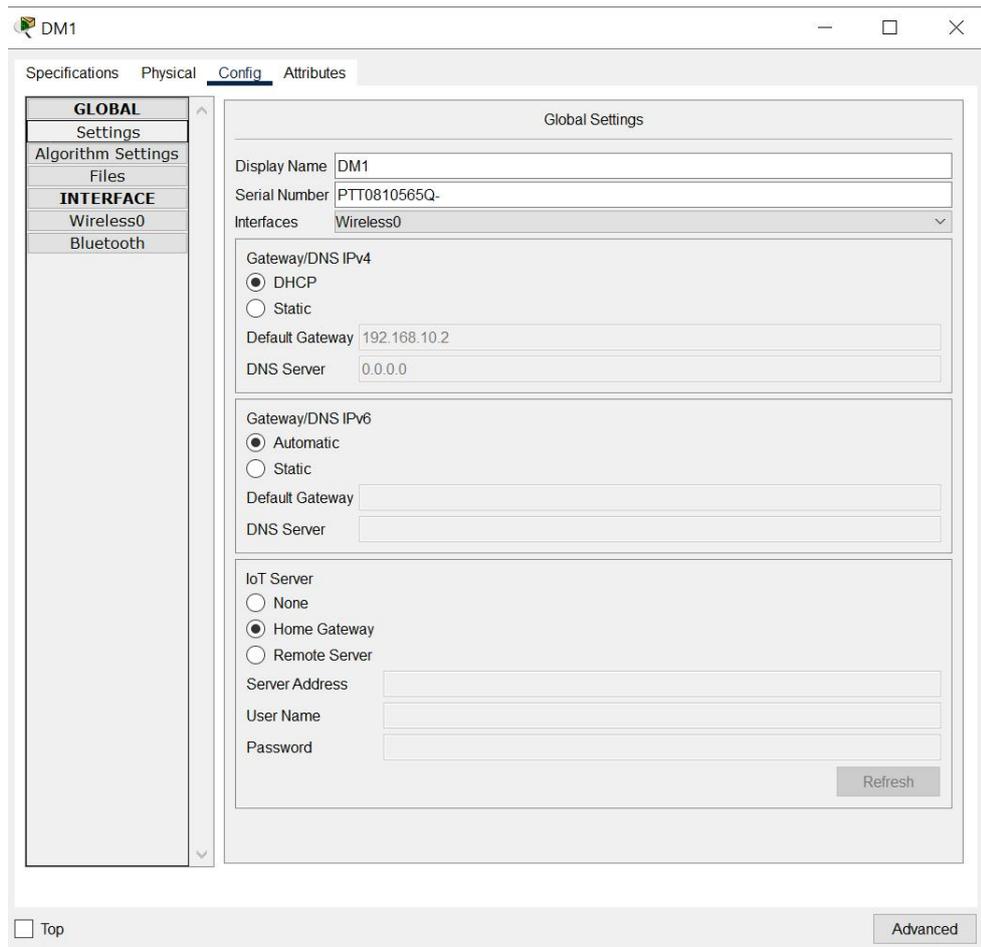


FIG. 7.29 – Connexion du d’ détecteur de mouvement au réseau sans fil de la passerelle et activation du DHCP

2. Configuration du détecteur de la Webcam et la Sirène : Pour configurer le détecteur de

la Webcam et de la Sirène, nous avons suivi les mêmes étapes précédents lors la configuration de détecteur de mouvement DM1 :

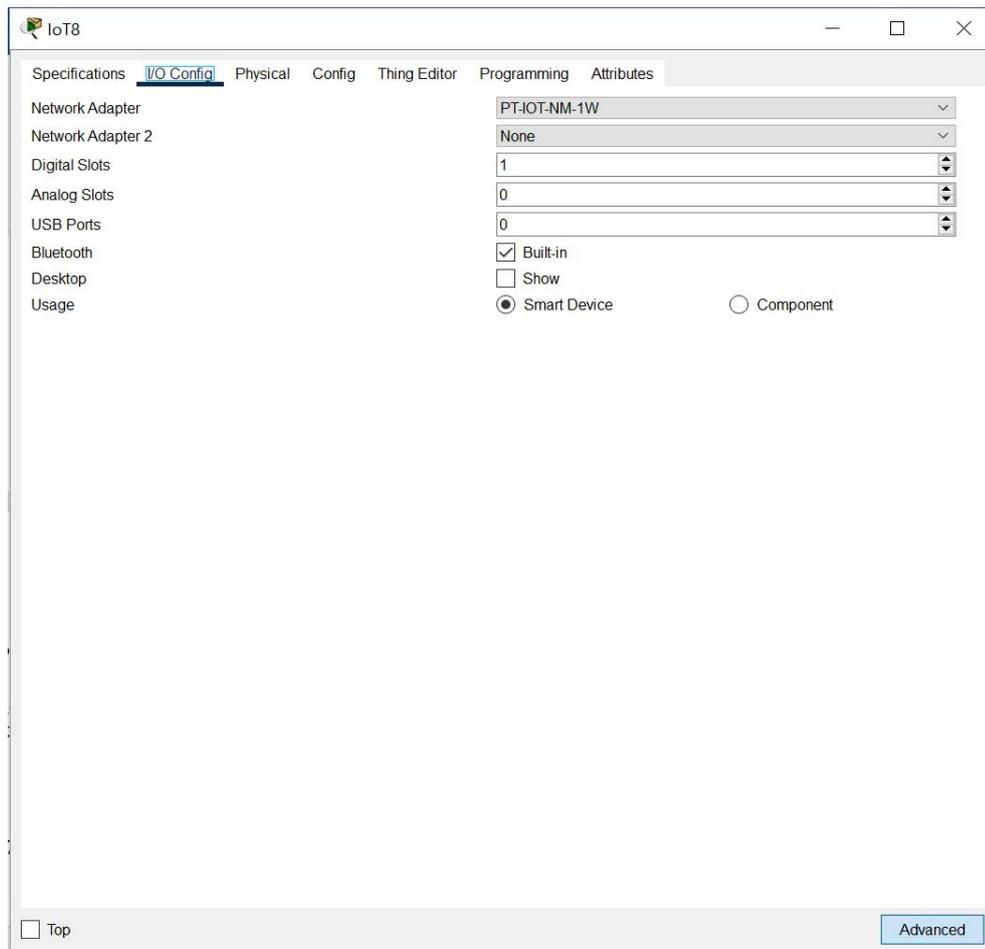


FIG. 7.30 – Sélectionner la carte Wifi pour la connexion sans fil de la webcam

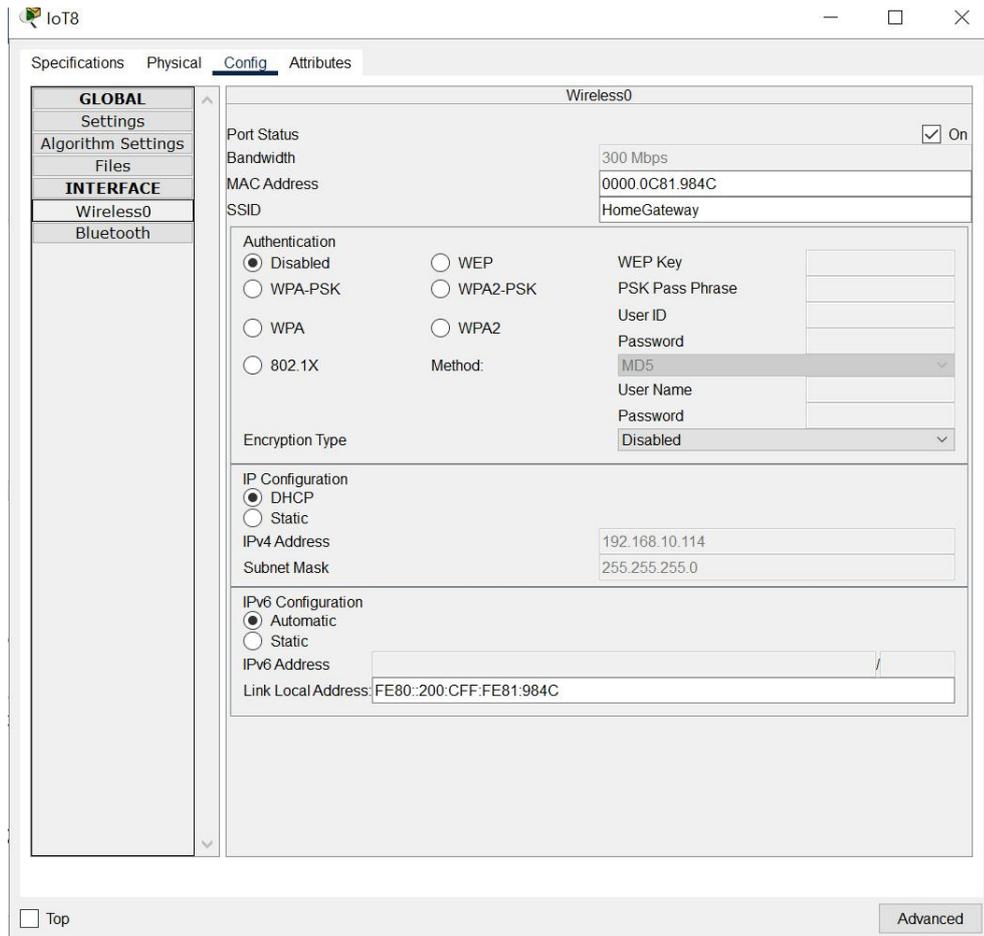


FIG. 7.31 – Connexion de la webcam au réseau sans fil de la passerelle et activation du DHCP

3. **Configuration de la Sirène** : Pour configurer la Sirène, nous avons suivi les mêmes étapes précédente lors la configuration de détecteur de mouvement DM1 et de la Webcam :

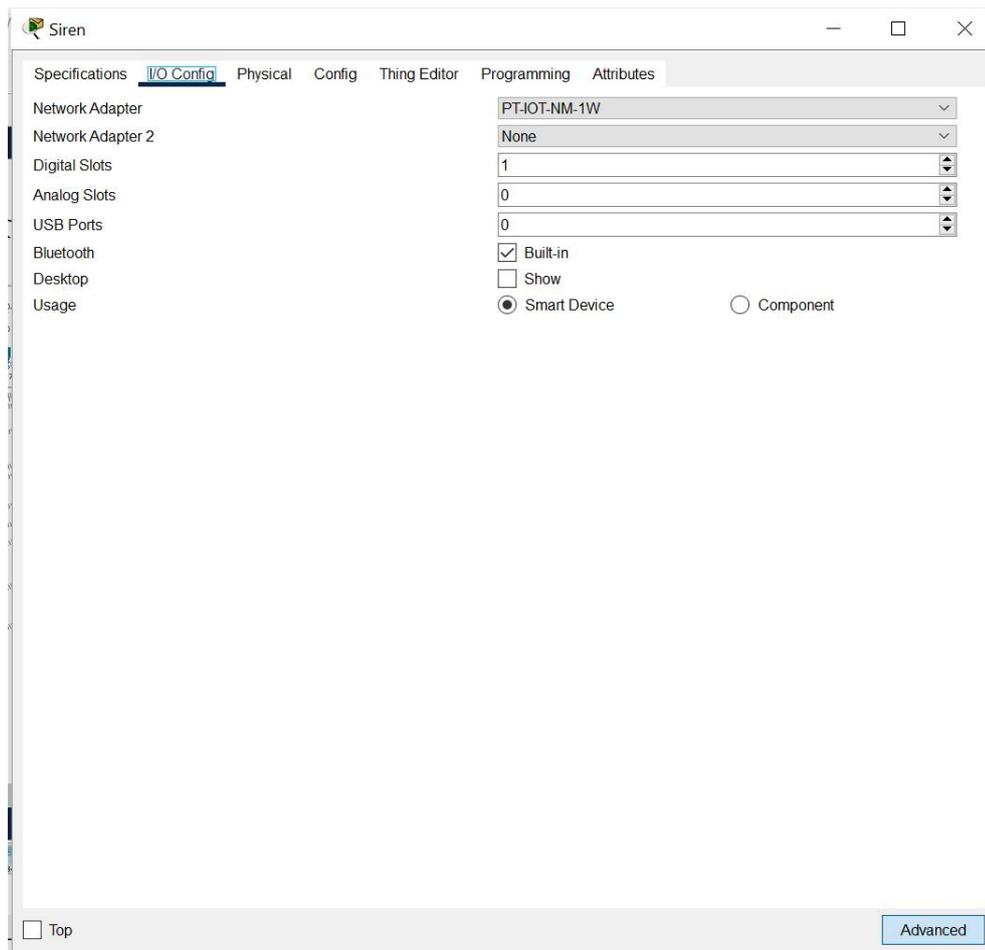


FIG. 7.32 – S'électionner la carte Wifi pour la connexion sans fil de la Siren

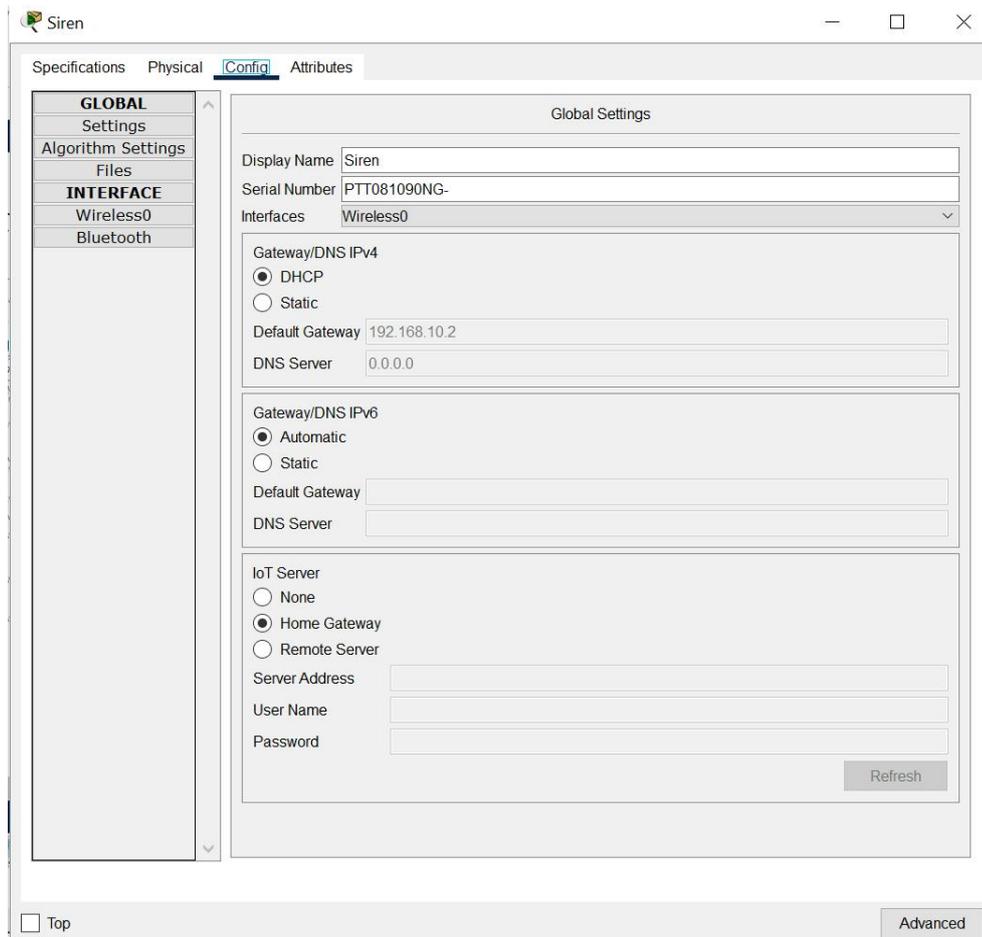


FIG. 7.33 – Connexion de la Siren au réseau sans fil de la passerelle et activation du DHCP

4. **Conditions de fonctionnement** : Cliquer sur le Tablet PC0 et puis sur 'Desktop' ensuite sur 'Web Browser'. Dans la fenêtre qui apparaît, on clique sur 'login' ensuite sur Conditions.

IF 'entrée visiteur' 'Open' is 'True' then 'siren IoT11,IoT12, IoT113, IoT14, IoT15, IoT16, IoT117' 'on' to 'true'.

IF 'entrée visiteur' 'Open' is 'False' then 'siren IoT11,IoT12, IoT113, IoT14, IoT15, IoT16, IoT117' 'on' to 'False'.

IF 'détecteur de mouvement DM1" 'On' to 'true'. then 'siren IoT8 et Entrée port' 'on' to 'true'.

IF 'détecteur de mouvement DM1" 'On' to 'false'. then 'siren IoT8 et Entrée port' 'on' to 'false'.

IF 'détecteur de mouvement DM2" 'On' to 'true'. then 'siren IoT8 et Entrée principale' 'on' to 'true'.

IF 'détecteur de mouvement DM2" 'On' to 'false'. then 'siren IoT8 et Entrée principale' 'on' to 'false'.

IF 'détecteur de mouvement DM3" 'On' to 'true'. then 'siren IoT8 et Entrée principale' 'on' to 'true'.

IF 'détecteur de mouvement DM3" 'On' to 'false'. then 'siren IoT8 et Entrée principale' 'on' to 'false'.

Tablet PCO

Physical Config **Desktop** Programming Attributes

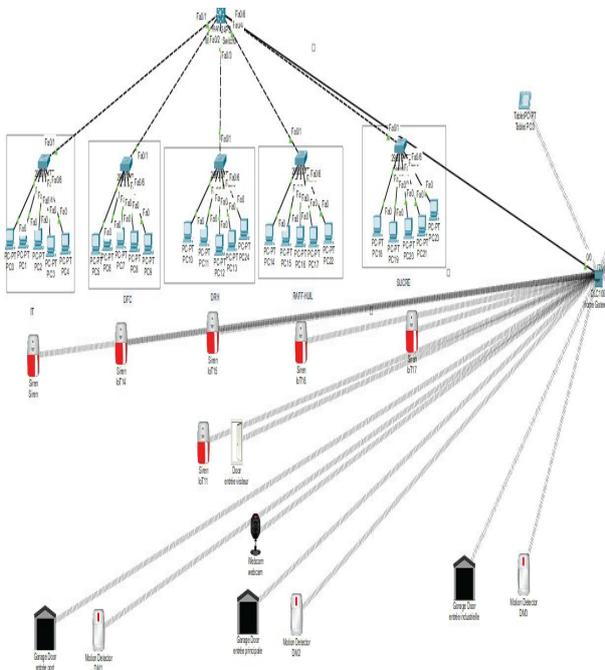
Web Browser

URL <http://192.168.10.2/conditions.html> Go Stop

IoT Server - Device Conditions Home | Conditions | Editor | Log Out

Actions	Enabled	Name	Condition	Actions
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	siren	entrée visiteur Open is true	Set IoT11 On to true Set IoT12 On to true Set IoT14 On to true Set IoT15 On to true Set IoT16 On to true Set IoT17 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	sirenoff	entrée visiteur Open is false	Set IoT11 On to false Set IoT12 On to false Set IoT14 On to false Set IoT15 On to false Set IoT16 On to false Set IoT17 On to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM	DM1 On is true	Set Entrée port On to true Set IoT8 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DMno	DM1 On is false	Set Entrée port On to false Set IoT8 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM2	DM2 On is true	Set Entrée principale On to true Set IoT8 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM2off	DM2 On is false	Set Entrée principale On to false Set IoT8 On to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM3	DM3 On is true	Set Entrée industrielle On to true Set IoT8 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM3off	DM3 On is false	Set Entrée industrielle On to false Set IoT8 On to false

Test de fonctionnement :



Tablet PCO

Physical Config **Desktop** Programming Attributes

Web Browser

URL <http://192.168.10.2/home.html> Go Stop

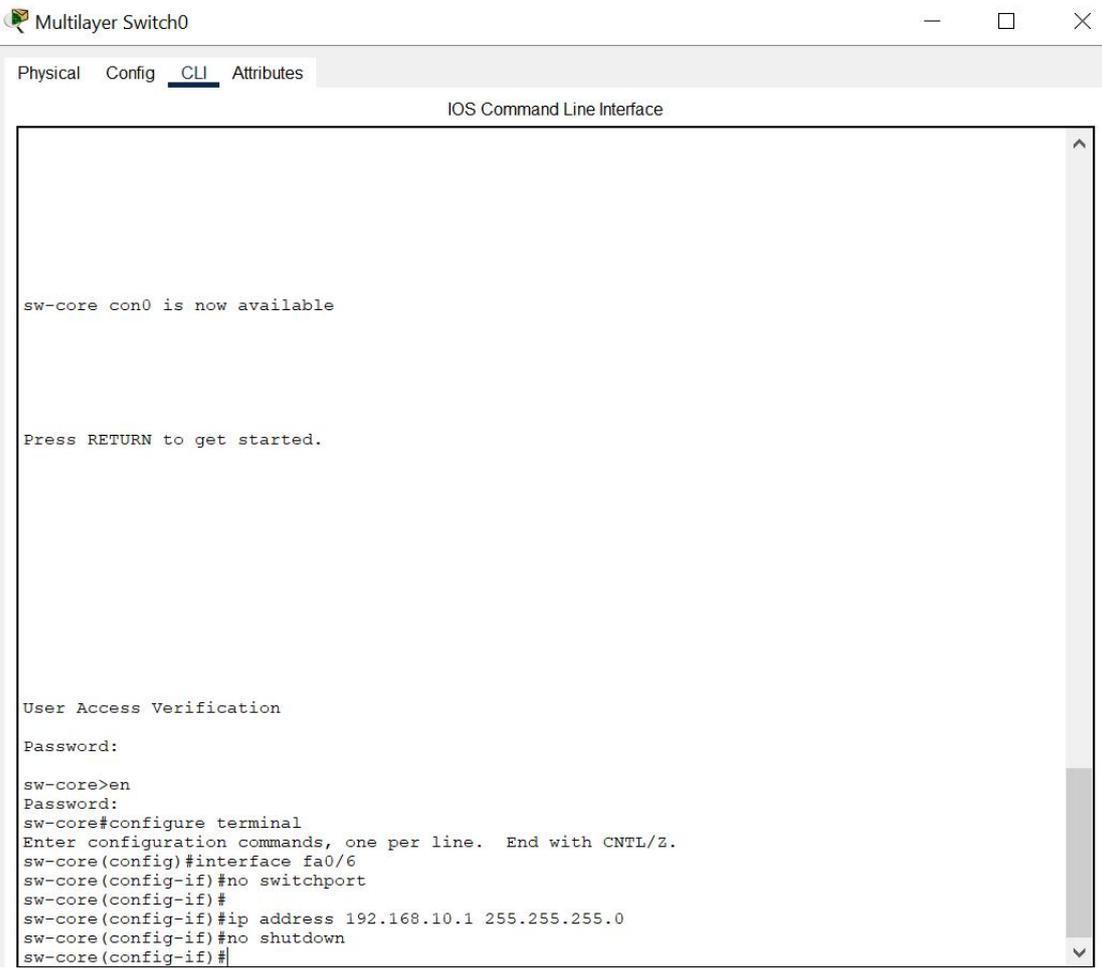
- On
- IoT17 (PTT0810919R-) Siren
- On
- IoT11 (PTT081031950-) Siren
- entrée port (PTT08104WZ5-) Garage Door
- On
- DM1 (PTT081096550-) Motion Detector
- On
- entrée principale (PTT0810P122-) Garage Door
- On
- webcam (PTT0810B0U0-) Webcam
- DM2 (PTT0810678D-) Motion Detector
- On
- entrée industrielle (PTT081015E3-) Garage Door
- On
- DM3 (PTT081069R4-) Motion Detector
- On
- entrée visiteur (PTT0810723A-) Door
- Open
- Lock

FIG. 7.34

7.16.1.4 Configuration du réseau

Connexion entre Multilayer Switch0 et Home Gateway0 :

Pour cela on a configuré l'interface qui relie Multilayer Switch0 et Home Gateway0 comme indique la figure suivante :



```
Multilayer Switch0
Physical Config CLI Attributes
IOS Command Line Interface

sw-core con0 is now available

Press RETURN to get started.

User Access Verification

Password:
sw-core>en
Password:
sw-core#configure terminal
Enter configuration commands, one per line. End with CNTL/Z.
sw-core(config)#interface fa0/6
sw-core(config-if)#no switchport
sw-core(config-if)#
sw-core(config-if)#ip address 192.168.10.1 255.255.255.0
sw-core(config-if)#no shutdown
sw-core(config-if)#
```

FIG. 7.35 – configuration d'interface fa/06

7.16.2 Scénario 2 : configuration du système de détection de CO2

Après la configuration du Home Gateway et Tablet PC0 ajouter les périphériques : Fan, Window et Carbone Dioxide Detector.

- Cliquer sur 'Fan' et encore sur 'Config'.
- Cliquer sur l'onglet Config et changer le nom du Fan.
- Cliquer sur 'Advanced' et sur 'I/O Config' et dans la fenêtre qui apparaît changer le Network adapté au 'PT-IOTNM-1W' et fermer la fenêtre.

Vérifier que le serveur DHCP est sélectionné dans les paramètres de configuration IP. Connecter la fenêtre et le Carbone Dioxide au réseau sans fil en suivant les mêmes précédents.

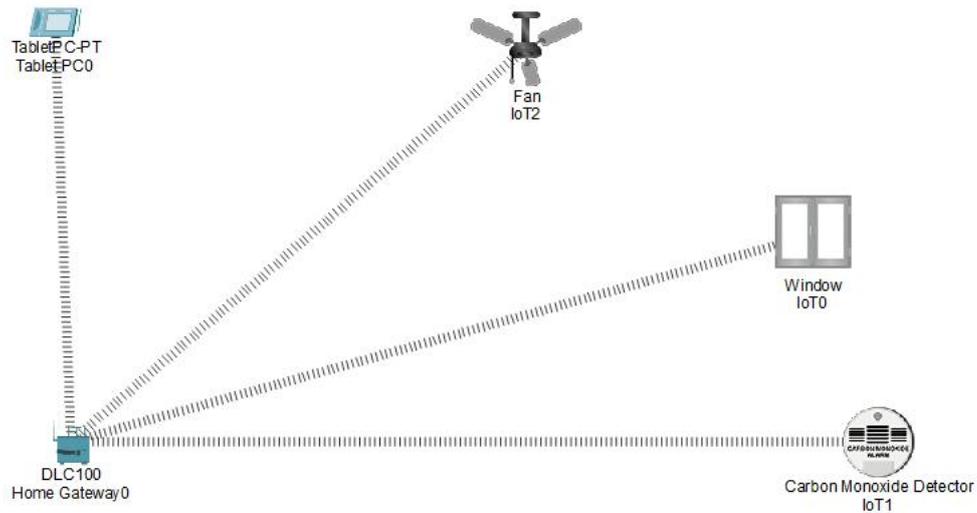


FIG. 7.36 – Eléments pour le système de détection de CO2.

7.16.2.1 Conditions de fonctionnement :

- Cliquer sur le Tablet PC et puis sur ‘Desktop’ ensuite sur ‘Web Browser’.
- Dans la fenêtre qui apparaît, on clique sur ‘Submit’ ensuite sur Conditions.
- Donner un nom à l’action qui ouvre le Window (Window open) et fermer le Window (Window close) puis met les conditions ‘IF’.

IF ‘Carbon Dioxide IoT5’ > 0.14 then ‘Window IoT7’ ‘on’ to ‘true’.

IF ‘Carbon Dioxide IoT5’ < 0.14 then ‘Window IoT7’ ‘on’ to ‘false’.

- Cliquer sur ‘Add’ puis ajouter la condition pour le fonctionnement de Fan.

IF ‘Carbon Dioxide IoT5’ > 0.14 then ‘Fan IoT4’ ‘on’ to ‘High’.

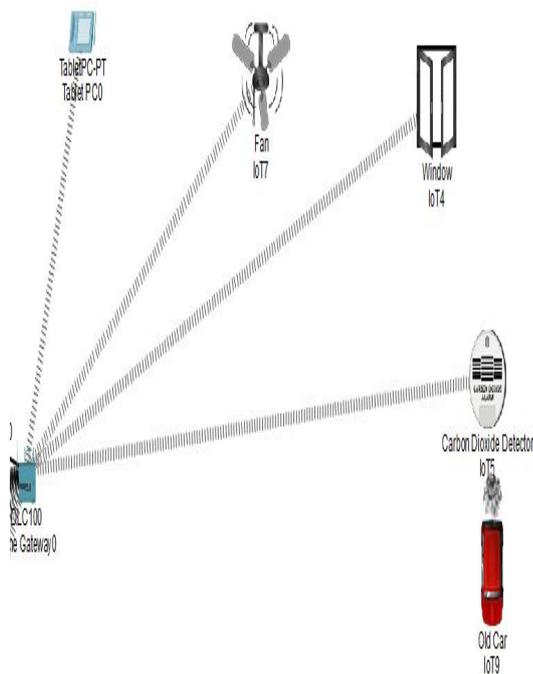
IF ‘Carbone Dioxide IoT5’ < 0.14 then ‘Fan IoT4’ ‘on’ to ‘false’.

Edit	Remove	Yes	fan on	IoT5 Level > 0.14	Set IoT7 Status to High
Edit	Remove	Yes	fan off	IoT5 Level < 0.14	Set IoT7 Status to Off
Edit	Remove	Yes	window open	IoT5 Level > 0.14	Set IoT4 On to true
Edit	Remove	Yes	window close	IoT5 Level < 0.14	Set IoT4 On to false

Add

FIG. 7.37 – Conditions de fonctionnement

Test de fonctionnement :



7.16.3 Scénario 3 : Système de détection de fumée

Dans cette partie, nous simulons un système de détection d'incendie avec une action de déclenchement automatique de la sirène et de l'arroseur afin d'éteindre l'incendie avec contrôle à distance du système. Pour cela, nous utilisons les éléments suivants : détecteur d'incendie, passerelle maison, arroseur et une sirène et un Tablet PC0.

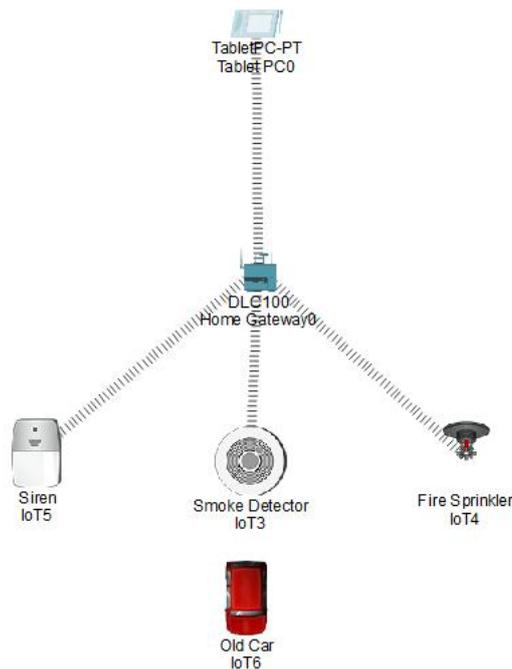


FIG. 7.38 – Eléments d’un système de détection de fumée

La configuration de la sirène, le détecteur de fumée, l’arroseur, est pratiquement la même que celle des systèmes précédents.

Les conditions de fonctionnement changent comme suit :

Après avoir lié le détecteur de fumée avec la sirène et l’arroseur, nous avons utilisé les conditions suivantes :

IF ‘Smoke Detector IoT1’ ‘Level’ >= 0.12 then ‘siren IoT0’ ‘on’ to ‘true’.

IF ‘Smoke Detector IoT1’ ‘Level’ < 0.12 then ‘siren IoT0’ ‘on’ to ‘false’.

IF ‘Smoke Detector IoT1’ ‘Level’ >= 0.14 then ‘sprinkler IoT2’ ‘On’ to ‘true’.

IF ‘Smoke Detector IoT1’ ‘Level’ < 0.14 then ‘sprinkler IoT2’ ‘on’ to ‘False’.

Edit	Remove	Yes	siren on	IoT1 Level >= 0.12	Set Iot0 On to true
Edit	Remove	Yes	siren off	IoT1 Level < 0.12	Set Iot0 On to false
Edit	Remove	Yes	fire spinkler on	IoT1 Level >= 0.14	Set Iot2 Status to true
Edit	Remove	Yes	fire spinkler	IoT1 Level < 0.14	Set Iot2 Status to false

FIG. 7.39 – Conditions de fonctionnement

Test de fonctionnement :

Pour que notre système fonctionne bien, nous avons ajouté un élément ‘old car’ (véhicule) proche du détecteur afin de simuler la présence de l’incendie, en appuyant sur ‘Alt’ et la souris. Lorsque la fumée dégagée dépasse le niveau 0.12, la sirène se déclenche, et si elle dépasse le niveau 0.14, l’arroseur se déclenche également. Les deux s’arrêtent dans le cas

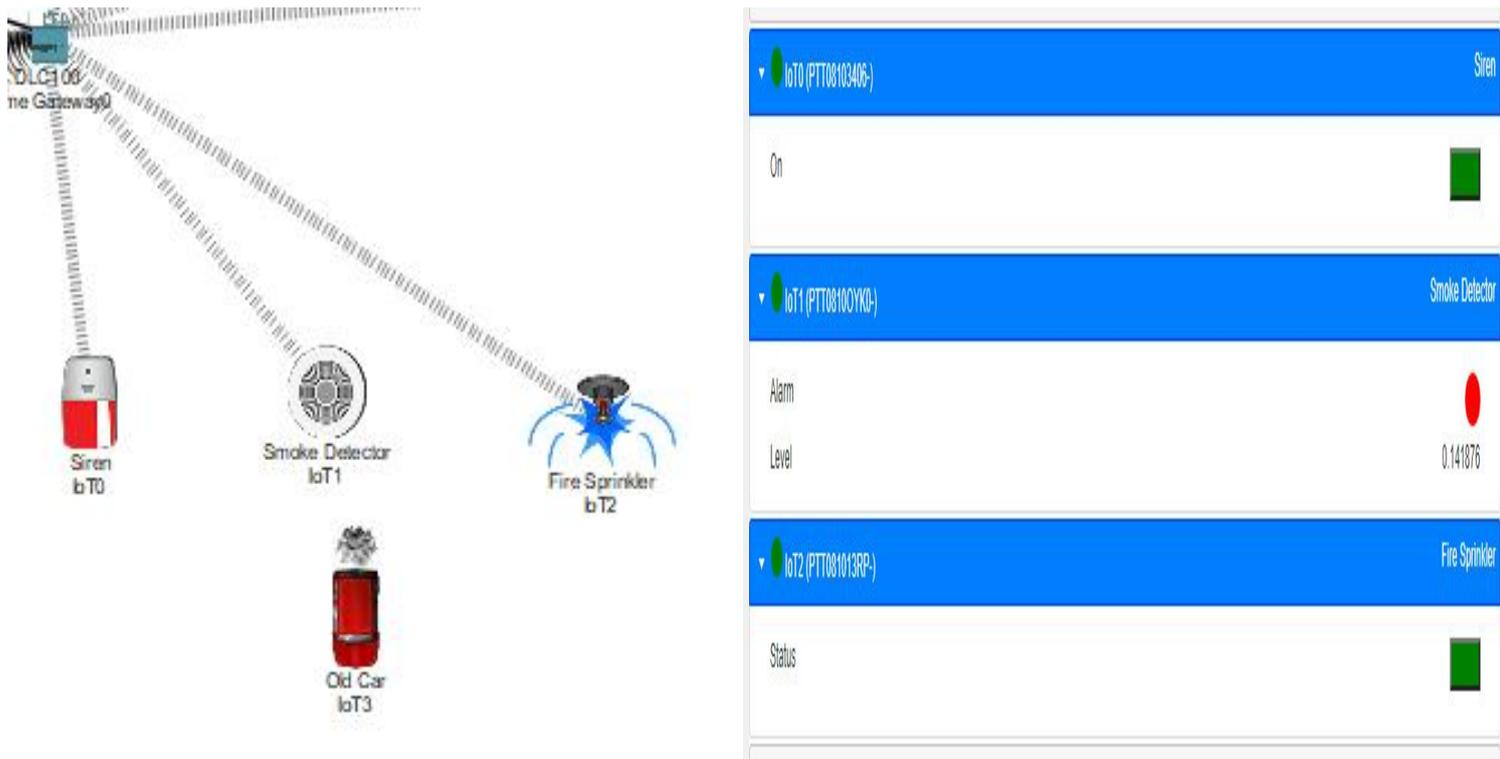


FIG. 7.40 – Fonctionnement du système de détection d'incendie

7.16.4 Scénario 4 : Schéma global du contrôle à distance de l'architecture

Le regroupement des systèmes précédent avec l'ajout de certains éléments nous a permis de concevoir une nouvelle architecture avec un système de commande à distance.

Après configuration de tous les éléments (comme il a été présenté précédemment), Voici la nouvelle architecture en marche :

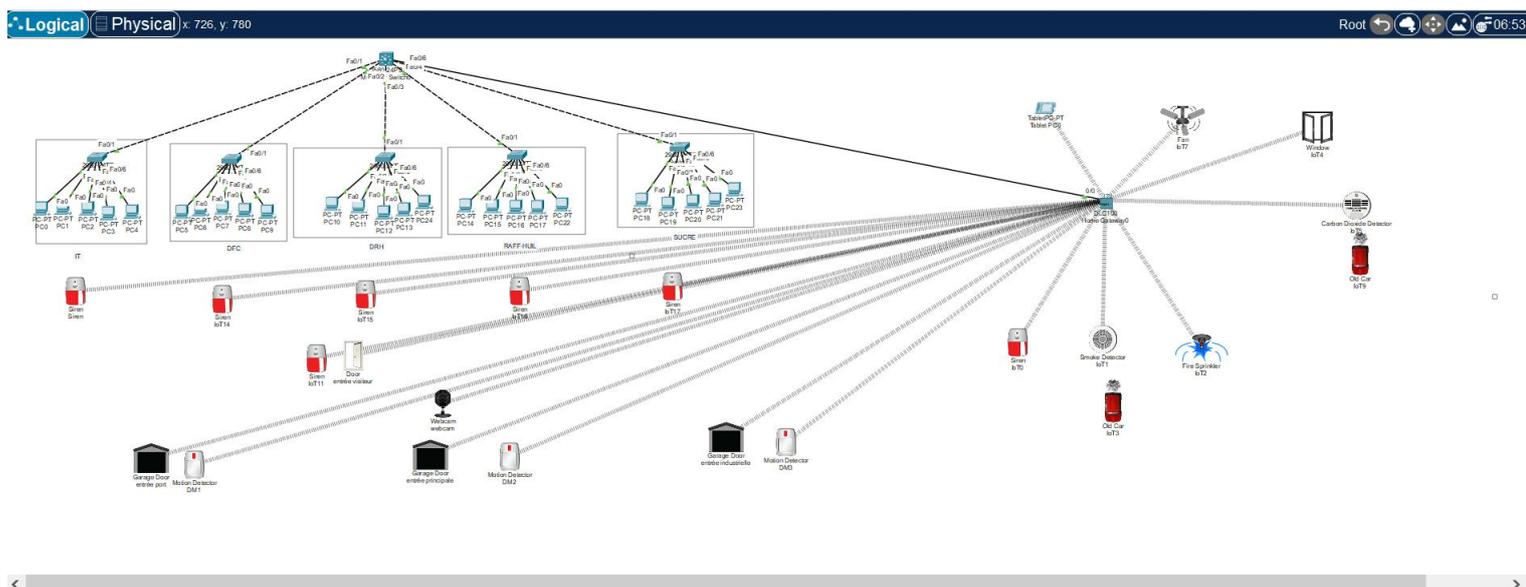


FIG. 7.41 – Shéma globale

Après que l'administrateur s'est authentifiée, les conditions et la liste des objets connectés à l'intérieur du réseau de la maison s'affiche :

Actions	Enabled	Name	Condition	Actions
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	siren	entrée visiteur Open is true	Set IoT11 On to true Set Siren On to true Set IoT14 On to true Set IoT15 On to true Set IoT16 On to true Set IoT17 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	sirenoff	entrée visiteur Open is false	Set IoT11 On to false Set Siren On to false Set IoT14 On to false Set IoT15 On to false Set IoT16 On to false Set IoT17 On to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM	DM1 On is true	Set entrée port On to true Set webcam On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DMno	DM1 On is false	Set entrée port On to false Set webcam On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM2	DM2 On is true	Set entrée principale On to true Set webcam On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM2off	DM2 On is false	Set entrée principale On to false Set webcam On to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM3	DM3 On is true	Set entrée industrielle On to true Set webcam On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	DM3off	DM3 On is false	Set entrée industrielle On to false Set webcam On to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	siren on	IoT1 Level >= 0.12	Set IoT0 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	siren off	IoT1 Level < 0.12	Set IoT0 On to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	fire spinkler on	IoT1 Level >= 0.14	Set IoT2 Status to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	fire spinkler	IoT1 Level < 0.14	Set IoT2 Status to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	Detecteur Entree industrielle off	DM3 On is false	Set entrée industrielle On to false Set webcam On to false
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	fan on	IoT5 Level > 0.14	Set IoT7 Status to High
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	fan off	IoT5 Level < 0.14	Set IoT7 Status to Off
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	window open	IoT5 Level > 0.14	Set IoT4 On to true
<input type="button" value="Edit"/> <input type="button" value="Remove"/>	Yes	window close	IoT5 Level < 0.14	Set IoT4 On to false

Top

FIG. 7.42 – Conditions de fonctionnement de tous les objets

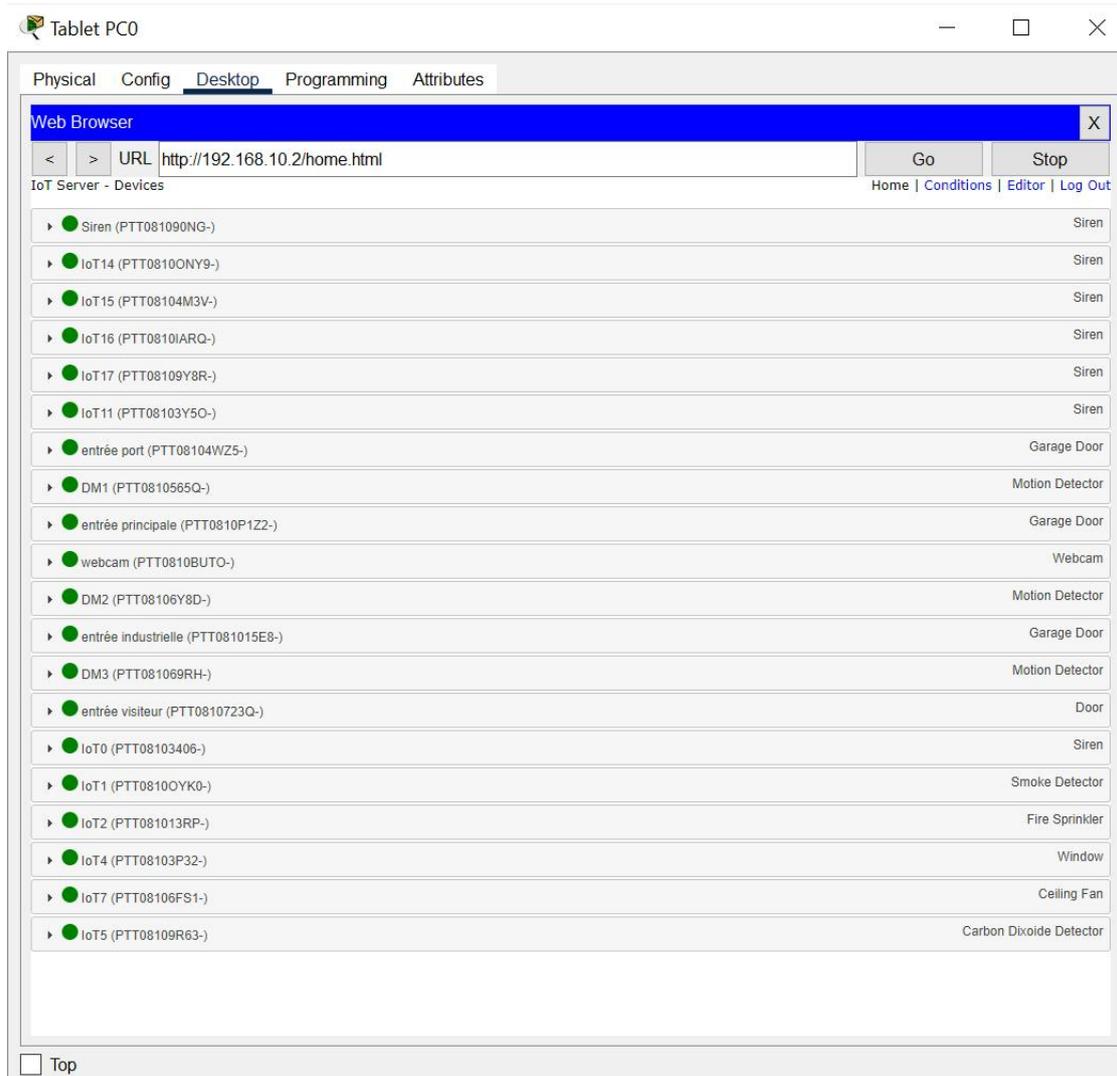


FIG. 7.43 – Objets connectés dans Tablet PC0

7.17 Dispositifs utilisés pour la conception

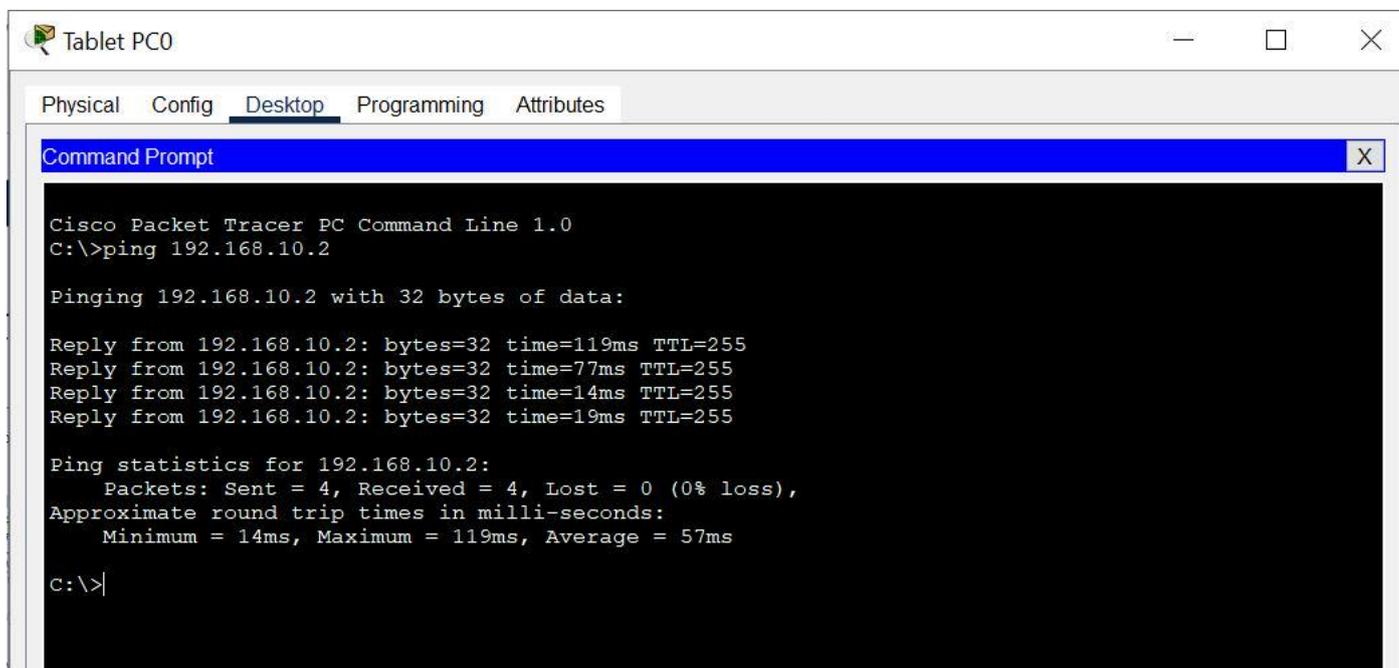
Home Gateway	Utilisé pour enregistrer un objet intelligent et attribuer une adresse IP à cet objet.
Tablet PC0	Connectez-vous à l'accueil pour accéder à un objet intelligent.
Ceiling Fan	Utilisé pour ventiler l'environnement de la maison en fonction de certaines conditions.
Webcam	Contrôle la maison.
Siren	Fournit du son pour certains événements de la maison.
Motion Detector	Connectez-vous à la maison d'accueil et fournissez la détection de Mouvement.
Smoke Detector	Utilisé pour détecter la fumée.
Carbone Dioxide	Détecte le dioxyde de carbone.
Fire Sprinkler	Affecte le niveau d'eau à un taux de 0,1 cm par seconde.
Old Car	Utilisé pour simuler différents scénarios dans la conception de la maison car il affecte, Co. co2 et le niveau de fumée.

TAB. 7.3 – Dispositifs utilisés dans la conception

7.17.1 Test de connexion

Pour tester la connexion en effectuant des pings sur le Tablet PC0.

- Cliquer sur Tablet PC0, puis sur l'onglet Desktop et enfin sur l'icône Command Prompt.
- Dans la fenêtre qui s'ouvre tapez « ping 192.168.10.2. » pour s'avoir si la communication est possible.



```
Tablet PC0
Physical Config Desktop Programming Attributes
Command Prompt
Cisco Packet Tracer PC Command Line 1.0
C:\>ping 192.168.10.2

Pinging 192.168.10.2 with 32 bytes of data:

Reply from 192.168.10.2: bytes=32 time=119ms TTL=255
Reply from 192.168.10.2: bytes=32 time=77ms TTL=255
Reply from 192.168.10.2: bytes=32 time=14ms TTL=255
Reply from 192.168.10.2: bytes=32 time=19ms TTL=255

Ping statistics for 192.168.10.2:
    Packets: Sent = 4, Received = 4, Lost = 0 (0% loss),
    Approximate round trip times in milli-seconds:
        Minimum = 14ms, Maximum = 119ms, Average = 57ms

C:\>
```

FIG. 7.44 – test de connexion

7.18 Conclusion :

Dans ce chapitre, Après avoir présenté une brève description de l'environnement de développement de réseau local, nous avons mis l'accent sur la présentation de quelques interfaces, qui porte sur l'ensemble des configurations, la mise en place du réseau LAN que nous avons réalisé, puis nous avons effectué un ensemble de tests de validation afin de prouver l'efficacité du réseau

Nous avons également assimilé les dispositifs Internet of Things avec les périphériques réseaux classiques utilisé pour regrouper des appareils dans plusieurs couches.

Chapitre 8

RÉALISATION et SIMULATION

Sommaire

8.1	Introduction	81
8.2	Python	81
8.3	Google Colaboratory (colab)	81
8.4	Discutions	95
8.5	Conclusion	96

8.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous allons voir la partie pratique que nous avons réalisée. Durant notre stage pratique chez CEVITAL (Bejaia), nous avons pu nous procurer un historique de 5 ans (2018-2023) comme nous l'avons montré dans le chapitre 6. C'est sur celui-ci que nous nous sommes basée pour faire notre prédiction.

8.2 Python

Python est un langage de programmation qui a été créé en 1991 par Guido van Rossum. Ce langage de haut niveau est polyvalent et convivial, sa syntaxe étant claire et lisible. Il est largement utilisé dans de nombreux domaines, tels que le développement web, l'analyse de données et l'intelligence artificielle. Avec sa vaste bibliothèque standard et sa communauté active, il offre une multitude de ressources pour les développeurs. Grâce à sa simplicité et à sa flexibilité, Python permet de créer des applications et des scripts de manière rapide et efficace. C'est un langage puissant qui facilite la réalisation de projets informatiques dans divers domaines[28] [29][30][31]. Dans notre partie pratique nous avons utilisé ce langage qui est le plus adapté.



FIG. 8.1 – Logo python

8.3 Google Colaboratory (colab)

Google Colaboratory, également connu sous le nom de Colab, est un environnement de développement Python basé sur le cloud offert gratuitement par Google. Il permet aux utilisateurs d'écrire, d'exécuter et de partager du code Python de manière interactive, sans avoir à effectuer d'installation. Avec Colab, on bénéficie d'un environnement Jupyter Notebook entièrement équipé, incluant des fonctionnalités avancées telles que l'accès aux ressources de calcul puissantes de Google. Cela facilite le prototypage rapide, l'expérimentation de modèles complexes et l'analyse de données massives. De plus, Colab offre une intégration fluide avec Google Drive, ce qui facilite le stockage et le partage des notebooks et des données. Colaboratory est utile pour les projets de programmation, la science des données et l'apprentissage automatique. Nous avons opté pour colab pour tous cela[32][33].



FIG. 8.2 – Logo de Google Colab

Pour l'utilisation de cet environnement il suffit juste de s'inscrire à Google Colab puis d'accéder à la page d'accueil (voir figure suivante).



FIG. 8.3 – Page d'accueil Colab

Une fois cela fait, on crée un nouveau notebook :

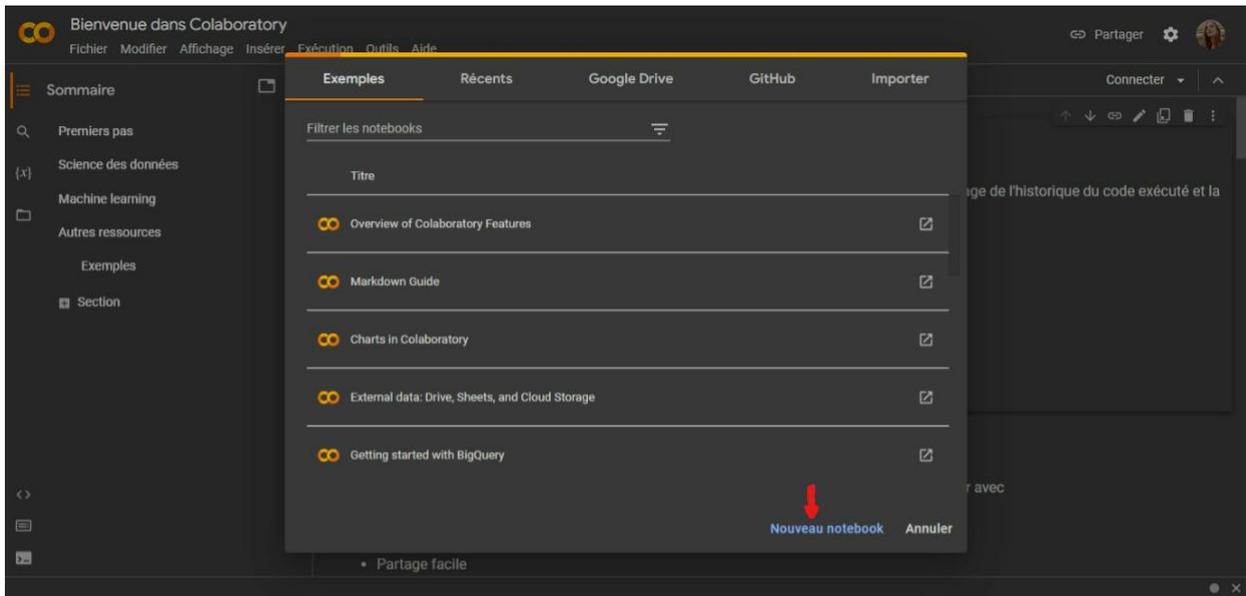


FIG. 8.4 – Création de notebook

Après avoir créé un nouveau notebook l'invite de commande ou l'on saisira notre code s'affichera :

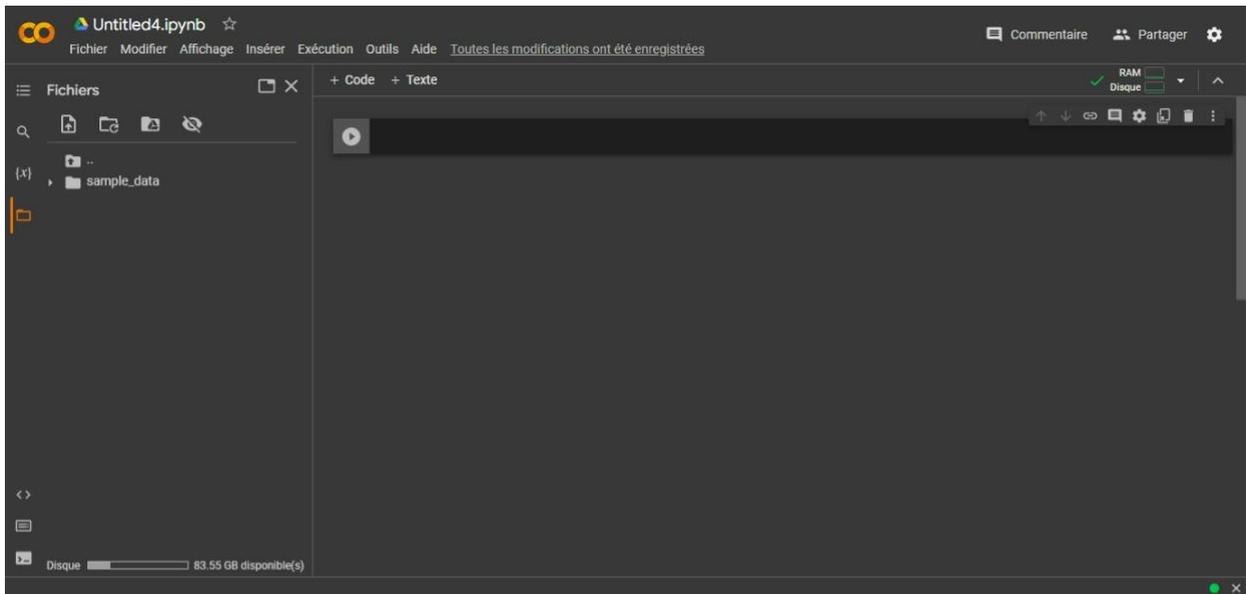


FIG. 8.5 – Invite de commande colab

Après avoir numérisé, traité, nettoyé et converti notre jeu de donnée en fichier csv, nous l'avons importé sur colab comme suit :

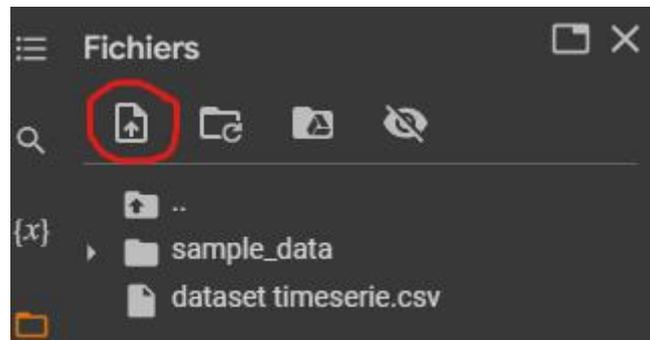


FIG. 8.6 – Icône d'importation de fichier

Equipement;	Date d	Date
B3623R1250-	02;06/02/2023;	06/02/2023
B3623R0048-	09;31/01/2023;	31/01/2023
B3623R0230-	04;30/01/2023;	30/01/2023
B3623R2801-	01;29/01/2023;	29/01/2023
B3623R0037-	03;29/01/2023;	30/01/2023
B3623R0209-	01;29/01/2023;	29/01/2023
B3623R0004-	06;26/01/2023;	27/01/2023
B3623R0043-	01;27/01/2023;	27/01/2023
B3623R3202-	01;28/01/2023;	28/01/2023
B3623R0200-	01;27/01/2023;	27/01/2023

FIG. 8.7 – Aperçu de l'historique des pannes de pompe

Dans notre algorithme nous avons importé les bibliothèques suivantes :

```
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.ensemble import RandomForestRegressor
from sklearn.model_selection import GridSearchCV
from xgboost import XGBRegressor
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import PolynomialFeatures
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import mean_squared_error, mean_absolute_error
from sklearn.preprocessing import StandardScaler
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, LSTM
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
from statsmodels.tsa.arima.model import ARIMA
```

FIG. 8.8 – Bibliothèques utilisées

Voici une brève explication de chacune d'entre elles :

1. pandas :

- pandas est une bibliothèque Python destinée à la manipulation et à l'analyse des données.
- Elle est utilisée pour lire et manipuler les données du jeu de données initial sous forme de DataFrames.

2. numpy :

- numpy est une bibliothèque Python pour le calcul numérique.

- Elle est utilisée pour effectuer des opérations mathématiques et des calculs sur les données, en particulier des tableaux multidimensionnels.
3. **matplotlib.pyplot** : sklearn est une
 - matplotlib est une bibliothèque Python pour la création de graphiques et de visualisations.
 - matplotlib.pyplot est utilisée pour tracer les prédictions des modèles de régression et de l'algorithme ARIMA par rapport aux valeurs réelles du nombre de pannes.
 4. **sklearn.ensemble.RandomForestRegressor** :
 - RandomForestRegressor est utilisé pour créer un modèle de régression utilisant l'algorithme des forêts aléatoires pour prédire le nombre de pannes.
 5. **sklearn.model_selection.GridSearchCV** :
 - GridSearchCV est utilisé pour effectuer une recherche par grille afin de trouver les meilleurs hyperparamètres pour le modèle de forêt aléatoire.
 6. **xgboost.XGBRegressor** :
 - XGBRegressor est un modèle de régression basé sur l'algorithme XGBoost (eXtreme Gradient Boosting).
 - XGBoost est utilisé pour créer un modèle de régression pour prédire le nombre de pannes.
 7. **sklearn.linear_model.LinearRegression** :
 - LinearRegression est utilisée pour créer un modèle de régression linéaire pour prédire le nombre de pannes en fonction du mois.
 8. **sklearn.preprocessing.PolynomialFeatures** :
 - PolynomialFeatures est utilisée pour transformer les caractéristiques en un ensemble de caractéristiques polynomiales.
 9. **keras.models.Sequential, keras.layers.Dense, keras.layers.LSTM** :
 - Ces classes de Keras, une bibliothèque Python pour l'apprentissage en profondeur (deep learning), sont utilisées pour créer un modèle de réseau de neurones LSTM.
 10. **sklearn.preprocessing.MinMaxScaler** :
 - MinMaxScaler est utilisée pour mettre à l'échelle les données dans une plage spécifiée (0 à 1).
 11. **statsmodels.tsa.arima.model.ARIMA** :
 - ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) est utilisée pour créer un modèle ARIMA pour la prévision de séries temporelles.

Ces bibliothèques sont souvent utilisées en conjonction les unes avec les autres pour effectuer des tâches d'analyse de données, d'apprentissage automatique et de modélisation prédictive en Python.

```

# Charger le jeu de données initial
df = pd.read_csv("/content/dataset timeserie.csv", encoding='ISO-8859-1', delimiter=';')

# Convertir les colonnes de dates en objets de type date
df["Date déb."] = pd.to_datetime(df["Date déb."], format="%d/%m/%Y")
df["Date fin"] = pd.to_datetime(df["Date fin"], format="%d/%m/%Y")

# Extraire le mois et l'année de la colonne "Date déb."
df["Mois"] = df["Date déb."].dt.month
df["Année"] = df["Date déb."].dt.year

# Ordonner les données par mois
df = df.sort_values(by="Mois")
display(df)

```

FIG. 8.9 – Importation et traitement du jeu de données

Dans la figure ci-dessus, nous avons d'abord chargé notre jeu de données (historique des pannes filtré sur les pompes), converti nos colonnes de dates ('Date déb.' et 'Date fin') en objets de type date (jour/-mois/année), extraits les mois et les années de 'Date déb.' pour ensuite ordonner l'historique en fonction des mois afin de faire une prédiction par mois. Dans la dernière ligne nous avons afficher notre jeu de donnée (voir figure suivante) avec les modification qu'on vient de citer.

	Equipement	Date déb.	Date fin	Mois	Année
5657	B3623R0041-01	2020-01-20	2020-01-20	1	2020
2144	B3623R0402-05	2022-01-02	2022-01-02	1	2022
2145	B3601R0001-01	2022-01-02	2022-01-02	1	2022
2146	B3623R1210	2022-01-02	2022-01-02	1	2022
2147	B3623R1210	2022-01-02	2022-01-02	1	2022
...
3992	B3623R0223-01	2020-12-19	2020-12-19	12	2020
3993	B3623R0222-02	2020-12-06	2020-12-06	12	2020
3994	B3623R0222-01	2020-12-06	2020-12-06	12	2020
3996	B3623R0220-01	2020-12-19	2020-12-19	12	2020
4022	B3623R0201-01	2020-12-06	2020-12-06	12	2020

8358 rows x 5 columns

FIG. 8.10 – Aperçu du jeu de donnée après modification

```
# Calculer le nombre de pannes réel par mois pour toutes les années
pannes_par_mois = df.groupby(["Année", "Mois"]).size().reset_index(name="Nombre de pannes réel")
pannes_par_mois = pannes_par_mois.sort_values(by="Mois")
print(pannes_par_mois)
pannes_2022 = pannes_par_mois[pannes_par_mois["Année"] == 2022]
print("Nombre de pannes réel par mois en 2022:\n", pannes_2022)
```

FIG. 8.11 – Code calculant le nombre de pannes par mois pour toutes les années
 Dans les 2 dernières lignes nous avons sélectionné les pannes par mois de l'année 2022 et nous les avons affichés, sachant que nous allons prendre plus tard l'année 2022 comme donnée de test.

	Année	Mois	Nombre de pannes réel
63	2023	1	136
39	2021	1	216
3	2018	1	119
15	2019	1	111
27	2020	1	272
..
38	2020	12	209
14	2018	12	94
58	2021	12	171
26	2019	12	97
62	2022	12	180

FIG. 8.12 – Nombre de pannes réel par mois

Nombre de pannes réel par mois en 2022:			
	Année	Mois	Nombre de pannes réel
51	2022	1	131
52	2022	2	181
53	2022	3	141
54	2022	4	134
55	2022	5	222
56	2022	6	183
57	2022	7	137
58	2022	8	197
59	2022	9	158
60	2022	10	159
61	2022	11	190
62	2022	12	180

FIG. 8.13 – Nombre de pannes réel par mois (2022)

Dans la figure suivante, le code divise les données en ensembles d'entraînement et de test en fonction de l'année.

```
# Diviser les données en ensembles d'entraînement (2018, 2019, 2020, 2021) et ensemble de test (2022)
train_data = pannes_par_mois[(pannes_par_mois["Année"] >= 2018) & (pannes_par_mois["Année"] <= 2021)]
test_data = pannes_par_mois[pannes_par_mois["Année"] == 2022]
pannes_2022 = pannes_par_mois[pannes_par_mois["Année"] == 2022]
```

FIG. 8.14 – Données de test et d'entraînement

Celui-ci effectue la séparation des caractéristiques (mois et année) de la variable cible (nombre de pannes réel) pour les ensembles d'entraînement et de test.

```
# Séparer les caractéristiques (mois et année) de la variable cible (nombre de pannes réel)
X_train = train_data[["Mois"]]
y_train = train_data["Nombre de pannes réel"]
X_test = test_data[["Mois"]]
y_test = test_data["Nombre de pannes réel"]
```

FIG. 8.15 – Séparation des caractéristiques de la variable de la variable cible

Les lignes qui suivent utilisent la régression linéaire pour prédire le nombre de pannes réel par mois en 2022 et affichent les résultats de la régression linéaire, y compris RMSE, MAE, les valeurs prédites et les valeurs réelles.

```
# Régression linéaire
linear_reg = LinearRegression()
linear_reg.fit(X_train, y_train)
linear_pred = linear_reg.predict(X_test).astype(int)
linear_mae = mean_absolute_error(y_test, linear_pred)
linear_rmse = mean_squared_error(y_test, linear_pred, squared=False)
print("Régression linéaire - RMSE:", linear_rmse)
print("Régression linéaire - MAE:", linear_mae)
print("Nombre de pannes prédit (Régression linéaire):", linear_pred)
print("Nombre de pannes réel par mois en 2022:\n", pannes_2022)
```

FIG. 8.16 – Régression linéaire

Voici les résultats du code précédent :

```
Régression linéaire - RMSE: 48.41487374764082
Régression linéaire - MAE: 39.333333333333336
Nombre de pannes prédit (Régression linéaire): [133 132 132 131 130 129 128 128 127 126 125 124]
```

FIG. 8.17 – Résultat de l'algorithme de régression linéaire

Voici son graphe :

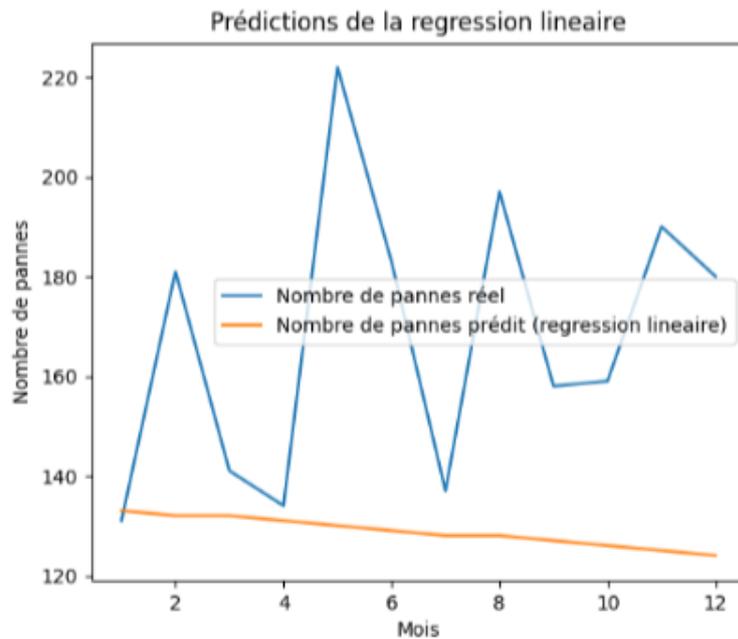


FIG. 8.18 – Modèle de régression linéaire

Dans ce bloc de code, une régression polynomiale est effectuée en ajustant le degré du polynôme. Cela pour prédire le nombre de pannes réel par mois en 2022 en utilisant le degré du polynôme spécifié. Régression Linéaire :

RMSE : 48.41

MAE : 39.33

Le modèle de régression linéaire, avec un RMSE de 48.41 et un MAE de 39.33, semble bien s'ajuster aux données.

```
# Régression polynomiale (degré 2)
poly_degree=2
poly_features = PolynomialFeatures(degree=poly_degree)
X_train_poly = poly_features.fit_transform(X_train)
X_test_poly = poly_features.transform(X_test)

# Régression polynomiale (ajuster le degré)
poly_reg = LinearRegression()
poly_reg.fit(X_train, y_train)
poly_reg.fit(X_train_poly, y_train)
poly_pred = poly_reg.predict(X_test_poly).astype(int)
poly_mae = mean_absolute_error(y_test, poly_pred)
poly_rmse = mean_squared_error(y_test, poly_pred, squared=False)
print("Régression polynomiale (degré ", poly_degree, ") - RMSE:", poly_rmse)
print("Régression polynomiale (degré ", poly_degree, ") - MAE:", poly_mae)
print("Nombre de pannes prédit (Régression polynomiale):", poly_pred)
```

FIG. 8.19 – Régression polynomiale

La figure suivante affiche les résultats de la régression polynomiale, y compris le RMSE, le R², et les valeurs prédites.

```
Régression polynomiale (degré 2 ) - RMSE: 48.87910255586396
Régression polynomiale (degré 2 ) - MAE: 40.333333333333336
Nombre de pannes prédit (Régression polynomiale): [139 135 132 129 127 125 125 124 125 126 128 130]
```

FIG. 8.20 – Affichage régression polynomiale

Voici son graphe :

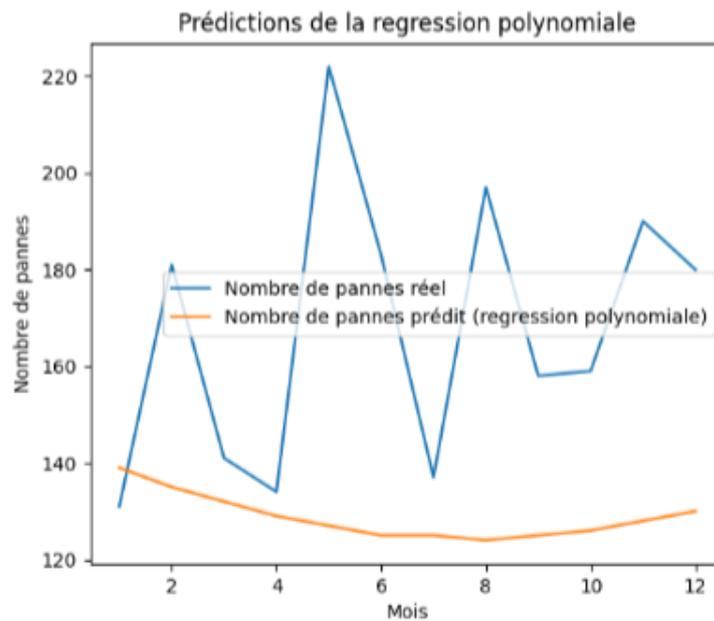


FIG. 8.21 – Modèle de régression polynomiale

Ce code permet d'entraîner un modèle de forêts aléatoires, de prédire les valeurs cibles sur l'ensemble de test, de calculer les mesures de performance (MAE et RMSE) et d'effectuer une recherche par grille pour trouver les meilleurs paramètres pour le modèle. Régression Polynomiale (Degré 1) :

RMSE : 48.87

MAE : 40.33

Cette modélisation, malgré sa simplicité, semble capturer raisonnablement bien les motifs sous-jacents avec un RMSE de 48.87 et un MAE de 40.33, montrant des performances similaires à la régression linéaire.

```
# Forêts aléatoires
rf_reg = RandomForestRegressor(random_state=42)
rf_reg.fit(X_train, y_train)
rf_pred = rf_reg.predict(X_test).astype(int)
rf_mae = mean_absolute_error(y_test, rf_pred)
rf_rmse = mean_squared_error(y_test, rf_pred, squared=False)
# Définir les hyperparamètres à ajuster
param_grid = {
    'n_estimators': [5, 10, 15, 25, 35, 45, 55, 110, 120, 130, 140, 150, 250, 350],
    'max_depth': [None, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50] }

# Créer le modèle de forêt aléatoire
rf_reg = RandomForestRegressor()

# Effectuer la recherche par grille
grid_search = GridSearchCV(rf_reg, param_grid, cv=5, scoring='neg_mean_absolute_error')
grid_search.fit(X_train, y_train)

# Afficher les meilleurs paramètres trouvés
print("Meilleurs paramètres :", grid_search.best_params_)
```

FIG. 8.22 – Ajustement et création du modèle forêt aléatoire

Voici l'affichage des meilleurs paramètres :

```
Meilleurs paramètres : {'max_depth': 25, 'n_estimators': 10}
```

FIG. 8.23 – Meilleure paramètre pour l’algorithme forets aléatoires

Dans ce bloc de code, nous utilisons les meilleurs paramètres trouvés lors de la recherche par grille pour créer un nouveau modèle de forêt aléatoire et l’ajuster avec les données d’entraînement. Ensuite, nous utilisons ce modèle ajusté pour faire des prédictions sur l’ensemble de test.

```
# Créer un nouveau modèle de forêt aléatoire avec les meilleurs paramètres
best_rf_reg = RandomForestRegressor(n_estimators=grid_search.best_params_['n_estimators'],
                                   max_depth=grid_search.best_params_['max_depth'])

# Ajuster le modèle avec les données d'entraînement
best_rf_reg.fit(X_train, y_train)

# Faire des prédictions avec le modèle ajusté
rf_pred = best_rf_reg.predict(X_test)
print("Forêt aléatoire - RMSE:", rf_rmse)
print("Forêt aléatoire - MAE:", rf_mae)
print("Nombre de pannes prédit (Forêt aléatoire):", rf_pred)
```

FIG. 8.24 – Forets aléatoires

Affichage des mesures de performance (RMSE et MAE) ainsi que les valeurs prédites.

```
Forêt aléatoire - RMSE: 63.62913378843583
Forêt aléatoire - MAE: 56.333333333333336
Nombre de pannes prédit (Forêt aléatoire): [169.39690476  86.17          95.22928571 203.0047619  106.28333333
 140.425       137.40253968 134.07555556 118.185       137.95111111
 107.01111111 147.485       ]
```

FIG. 8.25 – Affichage prédiction forets aléatoire

Ce code trace un graphique comparant les résultats des prédictions de la forêt aléatoire avec les valeurs réelles du nombre de pannes par mois.

```
# Tracer les résultats des prédictions de la forêt aléatoire
plt.figure(figsize=(6, 4))
plt.plot(test_data["Mois"], y_test, label="Nombre de pannes réel")
plt.plot(test_data["Mois"], rf_pred, label="Nombre de pannes prédit (Forêt aléatoire)")
plt.xlabel("Mois")
plt.ylabel("Nombre de pannes")
plt.title("Prédictions de la forêt aléatoire")
plt.legend()
plt.show()
```

FIG. 8.26

Voici le graphe résultant :

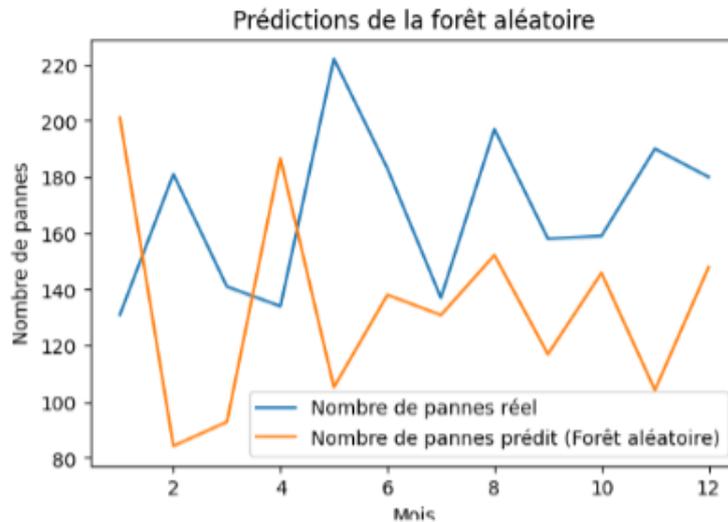


FIG. 8.27 – Modèle de forets aléatoire

Modèle de Forêt Aléatoire :

RMSE : 63.62

MAE : 56.33

Le modèle de forêt aléatoire affiche le RMSE le plus élevé (63.62) et le MAE le plus élevé (56.33), indiquant qu'il pourrait ne pas être le meilleur ajustement pour cet ensemble de données.

Dans cette figure, nous préparons les données pour le modèle ARIMA, entraînons le modèle ARIMA, effectuons des prédictions et évaluons le modèle ARIMA.

```
# Préparation des données pour le modèle ARIMA
train_data_arima = train_data.set_index("Mois")["Nombre de pannes réel"].reset_index(drop=True)
test_data_arima = test_data.set_index("Mois")["Nombre de pannes réel"].reset_index(drop=True)

# Entraînement du modèle ARIMA
model_arima = ARIMA(train_data_arima, order=(1, 1, 1))
model_fit_arima = model_arima.fit()

# Prédictions du modèle ARIMA
arima_pred = model_fit_arima.predict(start=1, end=len(test_data_arima))

# Évaluation du modèle ARIMA
arima_rmse = np.sqrt(mean_squared_error(test_data_arima, arima_pred))
arima_mae = mean_absolute_error(test_data_arima, arima_pred)

print("Modèle ARIMA - RMSE:", arima_rmse)
print("Modèle ARIMA - MAE:", arima_mae)
print("Nombre de pannes prédit (Modèle ARIMA):")
print(arima_pred)
```

FIG. 8.28 – ARIMA

Voici l'affichage de ce code :

```

Modèle ARIMA - RMSE: 54.14631001828203
Modèle ARIMA - MAE: 47.44774207216585
Nombre de pannes prédit (Modèle ARIMA):
1      215.583707
2      161.128754
3      144.893888
4      195.013050
5      148.816042
6      137.024449
7      129.324867
8      129.210372
9      126.625398
10     121.732165
11     116.723467
12     116.532227

```

FIG. 8.29 – Affichage prédiction ARIMA

Voici son graphe :

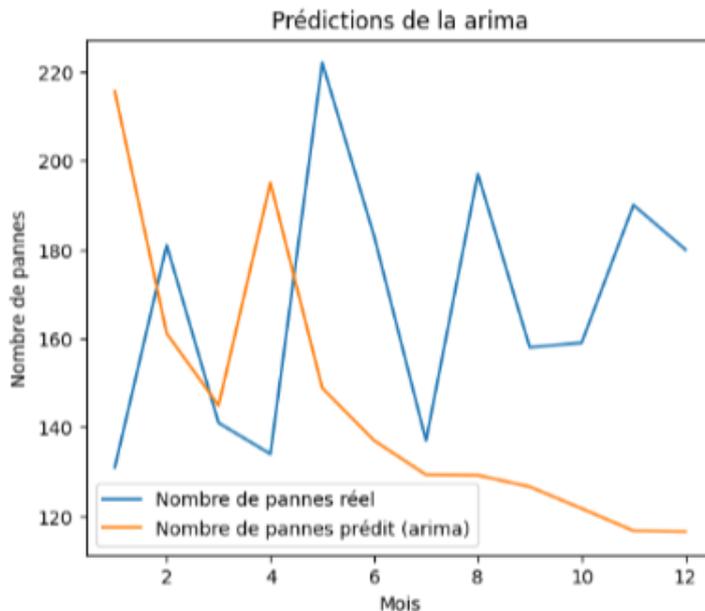


FIG. 8.30 – Modèle ARIMA (Moyennes Mobiles Intégrées Autorégressives)

Modèle ARIMA (Moyennes Mobiles Intégrées Autorégressives) :

RMSE : 54.14

MAE : 47.44

Le modèle ARIMA, bien qu'il fournisse des informations, semble avoir une performance affectée par la nature spécifique des données, avec un RMSE de 54.14 et un MAE de 47.44.

Dans ce bloc de code, nous préparons les données pour le modèle RNN (Réseau de Neurones Récurrents).

```

# Préparation des données pour le modèle RNN
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
scaled_train_data = scaler.fit_transform(train_data[["Nombre de pannes réel"]])
scaled_test_data = scaler.transform(test_data[["Nombre de pannes réel"]])

sequence_length = 1 # Longueur de la séquence temporelle pour le modèle RNN

X_train = []
y_train = []
for i in range(sequence_length, len(scaled_train_data)):
    X_train.append(scaled_train_data[i-sequence_length:i, 0])
    y_train.append(scaled_train_data[i, 0])
X_train, y_train = np.array(X_train), np.array(y_train)

X_test = []
y_test = []
for i in range(sequence_length, len(scaled_test_data)):
    X_test.append(scaled_test_data[i-sequence_length:i, 0])
    y_test.append(scaled_test_data[i, 0])
X_test, y_test = np.array(X_test), np.array(y_test)

```

FIG. 8.31 – Préparation RNN

Après l'exécution de ce bloc de code, les données d'entraînement et de test sont préparées dans le format approprié pour être utilisées avec un modèle RNN. Les caractéristiques d'entraînement sont stockées dans `X_train` et les valeurs cibles d'entraînement sont stockées dans `y_train`. De même, les caractéristiques de test sont stockées dans `X_test` et les valeurs cibles de test sont stockées dans `y_test`.

Dans ce bloc de code, nous créons et entraînons un modèle RNN (Réseau de Neurones Récurrents) pour prédire le nombre de pannes.

```

# Préparation des données pour le modèle RNN
scaler = MinMaxScaler(feature_range=(0, 1))
scaled_train_data = scaler.fit_transform(train_data[["Nombre de pannes réel"]])
scaled_test_data = scaler.transform(test_data[["Nombre de pannes réel"]])

sequence_length = 1 # Longueur de la séquence temporelle pour le modèle RNN

X_train = []
y_train = []
for i in range(sequence_length, len(scaled_train_data)):
    X_train.append(scaled_train_data[i-sequence_length:i, 0])
    y_train.append(scaled_train_data[i, 0])
X_train, y_train = np.array(X_train), np.array(y_train)

X_test = []
y_test = []
for i in range(sequence_length, len(scaled_test_data)):
    X_test.append(scaled_test_data[i-sequence_length:i, 0])
    y_test.append(scaled_test_data[i, 0])
X_test, y_test = np.array(X_test), np.array(y_test)

```

FIG. 8.32 – RNN

Après l'exécution de ce bloc de code, le modèle RNN est créé, entraîné et utilisé pour effectuer des prédictions sur les données de test. Les métriques de performance telles que le RMSE et le R^2 sont calculées, et les valeurs prédites du modèle sont affichées.

Les deux dernières lignes affichent les résultats : le RMSE, le R^2 et les valeurs prédites du modèle RNN (voir figure suivante).

```
Modèle RNN - RMSE: 47.55763532360097
Modèle RNN - MAE: 38.59623163396662
Nombre de pannes prédit (Modèle RNN):
[127.78169 134.4089 129.11955 128.18367 139.71962 134.67065 128.58511
136.4953 131.37994 131.51234 135.58466]
```

FIG. 8.33 – Affichage résultats RNN

Voici le graphe du modèle RNN :

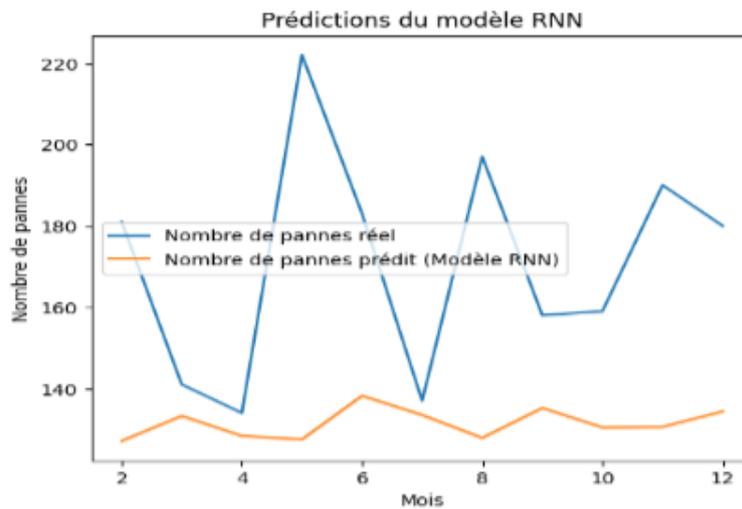


FIG. 8.34 – Modèle RNN (Réseau de Neurones Récurrents)

Modèle RNN (Réseau de Neurones Récurrents) :

RMSE : 47.55

MAE : 38.59

Le modèle RNN surpasse les modèles de régression avec un RMSE de 47.55 et un MAE de 38.59, suggérant qu'il capture des motifs plus complexes dans les données.

8.4 Discussions

Examinons les résultats des différents modèles en se basant sur les valeurs de RMSE (Root Mean Square Error) et de MAE (Mean Absolute Error) suivantes, pour déterminer le meilleur modèle :

1. Régression polynomiale (degré 1) :
 - RMSE : 48.87
 - MAE : 40.33
2. Régression linéaire :
 - RMSE : 48.41
 - MAE : 39.33
3. Modèle RNN (Réseau de Neurones Récurrents) :
 - RMSE : 47.55
 - MAE : 38.59
4. Modèle ARIMA (Moyennes mobiles intégrées autorégressives) :

— RMSE : 54.14

— MAE : 47.44

5. Forêt aléatoire :

— RMSE : 63.62

— MAE : 56.33

En analysant ces résultats, le modèle RNN (Réseau de Neurones Récurrents) présente les meilleures performances en termes de RMSE et de MAE. Voici quelques raisons pour lesquelles le modèle RNN peut être considéré comme le meilleur choix :

- **RMSE et MAE Faibles** : Le modèle RNN affiche un RMSE de 47.55 et un MAE de 38.59, les valeurs les plus faibles parmi tous les modèles. Cela signifie que ses prédictions sont généralement plus proches des valeurs réelles.
- **Prise en Compte des Dépendances Temporelles** : Les RNN sont conçus pour traiter des séries temporelles, ce qui signifie qu'ils peuvent capturer les dépendances temporelles dans les données. Cela les rend adaptés aux prédictions basées sur le temps comme dans notre cas.
- **Apprentissage Adaptatif** : Les RNN ont la capacité d'apprendre et de s'adapter aux modèles sous-jacents dans les données, ce qui peut les rendre plus puissants pour les tâches de prévision complexes.

Cependant, il est important de noter que le choix du modèle dépend également du contexte et des objectifs spécifiques de notre application. Si la simplicité est une priorité ou si les dépendances temporelles ne sont pas cruciales, une régression linéaire ou polynomiale peut être plus appropriée.

Le modèle ARIMA affiche des résultats raisonnables, mais il semble légèrement moins performant que le RNN. Enfin, la forêt aléatoire, bien que robuste, présente une erreur plus élevée, ce qui en fait une option moins favorable dans ce scénario.

Dans l'ensemble, le modèle RNN est le meilleur choix en se basant sur les mesures de performance fournies.

8.5 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons traité : le langage et l'environnement que nous avons utilisé et l'algorithme de prédiction de pannes par mois en expliquant étape par étape ce qu'on a fait.

Conclusion

Pour conclure, aujourd'hui l'industrie 4.0 et la maintenance prédictive sont les composantes essentielles de la technologie de pointe et de la production industrielle.

L'industrie 4.0 change la donne. Ses technologies révolutionnaires permettent aux usines de collaborer plus efficacement, en fournissant des résultats en temps réel.

Plutôt que de s'appuyer sur des calendriers de maintenance préplanifiés ou des réparations après panne, la maintenance prédictive utilise des capteurs et des analyses pour surveiller en permanence l'état de l'équipement et prévoir les pannes potentielles. Cela permet aux entreprises de planifier et d'exécuter les travaux de maintenance au moment le plus opportun, réduisant ainsi les temps d'arrêt imprévus, les coûts de réparation et les interruptions de production.

La combinaison de l'industrie 4.0 et de la maintenance prédictive apporte d'énormes avantages aux entreprises. Il optimise l'efficacité opérationnelle, améliore la qualité des produits, réduit les coûts de maintenance et prolonge la durée de vie des équipements. Cependant, la mise en œuvre réussie de l'industrie 4.0 et de la maintenance prédictive pose également des défis.

Afin d'atteindre le résultat escompté, nous avons choisi de simuler notre réseau physique virtuel en utilisant Cisco Packet Tracer 8.2 pour les divers avantages qu'il présente notamment la simplicité de la configuration des équipements et protocoles dont on a besoin. Nous avons en parallèle pour la partie prédiction, user de Google Colab pour créer notre algorithme de prédiction de pannes en utilisant le langage python.

Somme toute, nous avons pu atteindre les objectifs tracer au tout début qui sont :

- Proposer une nouvelle architecture réseau (informatique et industriel) qui prend en considération les lots et les principes de base de l'industrie 4.0,
- Etablir une solution intelligente pour la prédiction de pannes (maintenance prédictive).

Annexes

8.6 Annexe 1 : Matériels utilisé dans l'architecture de CEVITAL

Le réseau de CEVITAL comprend également d'autres éléments importants qui contribuent à son bon fonctionnement :

Switch d'accès : Cisco Catalyst 2960 et 2950 :

Ils sont connectés au réseau dorsal et installés dans différents bâtiments de l'entreprise.



FIG. 8.35 – Switch Cisco Catalyst 2950[34].

Switch en cascade : Cisco Catalyst 2950 et 2960 :

Divers commutateurs de cette couche sont montés en cascade (mutuellement et commutateurs d'accès) pour fournir aux utilisateurs un accès au réseau. Dans ces commutateurs, les VLAN peuvent définir plusieurs sous-réseaux en fonction des divisions de l'entreprise.



[35].

Routeur : Cisco 2900 :

Il gère le routage entre les différents sites de l'entreprise.



[34].

Pare feu :

Deux pare-feux sont reliés en redondance et permettant de sécuriser le réseau, d'isoler certaines parties de celui-ci, encadre et sécurise l'accès internet.



FIG. 8.36 – Pare feu Palo Alto 3020[34].

Point d'accès WIFI :

L'entreprise dispose de plusieurs points d'accès WIFI pour obtenir une couverture réseau sans fil dans certaines zones du parc.



[34]

Serveur :

CEVITAL dispose de 35 serveurs dans le datacenter, des serveurs « HP ProLiant DL380 G5 », 19 serveurs « HP ProLiant BL460C G5 », qui sont protégés dans un « HP blade system c7000closure » spécialement conçu pour alimenter ces serveurs. Ils se connectent aux commutateurs distribués Cisco Catalyst 4507R pour fournir des applications professionnelles et des services informatiques tels qu'Active Directory, Outlook, Windows Server 2003 et 2008, DHCP, etc. **Data center** : La data center est une pièce sécurisée, l'accès y est restreint, seul les responsables et techniciens de la DSI (Direction Système d'Information) y ont accès la température est contrôlée pas un système d'air conditionné et l'alimentation électrique est doublé qui permet ainsi de veiller au bon fonctionnement des équipements qui s'y trouvent.

Le data center de Cevital es considérer le noyau central du réseau de l'entreprise on y trouve :

- Les serveurs de l'entreprise.
- Le switch cœur.
- Les pare feu.
- Les routeurs.
- Le standard téléphonique.

8.7 Annexe 2 : Type de réseaux industrielle utiliser dans cevital

- **Autres aussi :**

Ethernet : Ethernet est une technologie de réseau local (LAN) largement utilisée pour la transmission de données. Il s'agit d'une norme qui définit les spécifications physiques et les protocoles de communication pour les réseaux filaires. Ethernet permet de connecter des ordinateurs, des serveurs, des routeurs, des commutateurs et d'autres périphériques au sein d'un réseau local, offrant une connectivité fiable et rapide[36].

Profinet : Profinet est un protocole de communication industriel basé sur Ethernet. Il est utilisé dans les environnements industriels pour la communication entre les machines, les automates programmables et les autres équipements. Profinet offre des fonctionnalités avancées telles que la détection de pannes, la redondance, la synchronisation temporelle et la gestion de la qualité de service. Il permet une intégration transparente des systèmes d'automatisation industrielle avec les réseaux Ethernet standard[37].

Réseaux-sans file : Les réseaux sans fil, également connus sous le nom de réseaux WiFi, utilisent des ondes radio pour la transmission de données, éliminant ainsi le besoin de câbles physiques. Les réseaux sans fil permettent une connectivité flexible et mobile, permettant aux dispositifs de se connecter au réseau sans être physiquement reliés à un point d'accès. Ils sont couramment utilisés pour les connexions Internet, les réseaux locaux sans fil (WLAN) et les réseaux d'appareils IoT.

ASI-bus : ASI-bus (Actuator Sensor Interface) est un protocole de communication utilisé dans les applications d'automatisation industrielle. Il s'agit d'un bus de terrain spécifique à l'industrie qui permet de relier des capteurs, des actionneurs et d'autres dispositifs aux automates programmables et aux systèmes de contrôle. L'ASI-bus fournit une communication en temps réel à faible latence et à haut débit, ce qui le rend adapté aux environnements industriels exigeants où des temps de réponse rapides sont nécessaires[38].

- **Paramètre de communication :**

- Chaque machine contient une adresse, il peut interroger plusieurs machines à la fois. Il fonctionne sur le mode maître/esclave. Dans la communication pour que tout fonctionne, il est nécessaire que tous soient parfaits, un défaut ou une faute quoi qu'il ait conduit à un arrêt immédiat.
- La vitesse :
 - **Modbus** : débit élevé jusqu'à 10Mbits/s.
 - **Profibus** : Vitesse de transmission 9,6 Kbits/s à 12 Mbits/s.
- Table d'échange : deux machines qui s'échangent entre elle, dans chaque espace mémoire échangé chaque mot a sa propre signification.
- La parité : généralement utiliser par le Modbus, son but est contrôlé les erreurs.

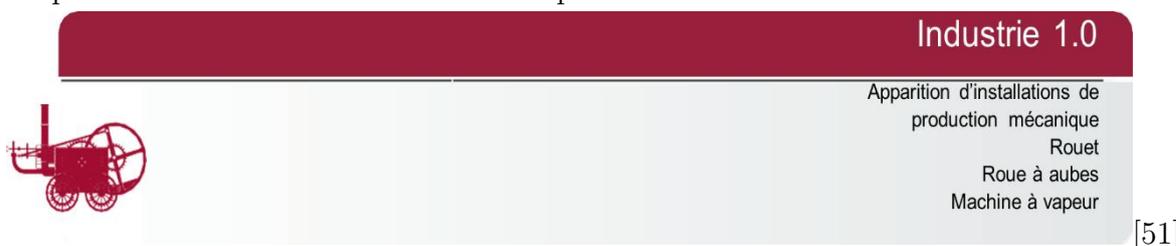
8.8 Annexe 3 :Les révolutions industrielles



FIG. 8.37 – Les révolutions industrielles[51].

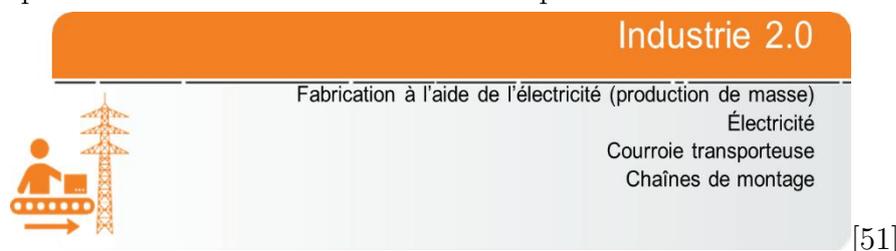
• 1ERE RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

Il remonte à l'extraction du charbon par James Watt et au développement de la machine à vapeur en 1769. Cela changera fondamentalement la façon dont la fabrication est effectuée. En effet, l'artisanat sera remplacé par la production mécanique, et les usines remplaceront les usines artisanales et les ateliers... Dans l'usine, la révolution correspond à l'utilisation de la machine à vapeur comme moteur pour faire fonctionner les machines qui permettent l'augmentation. Cela conduit à plus de fabrication et donne vie aux petites séries.



• 2EME RÉVOLUTION INDUSTRIELLE

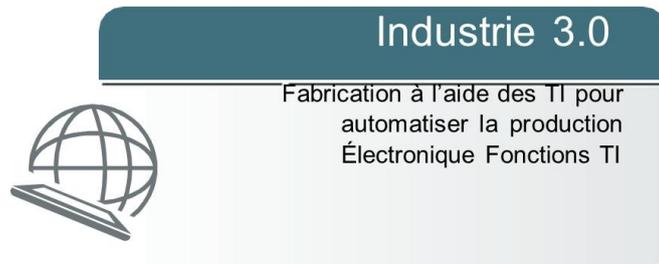
La seconde a été provoquée par l'utilisation du pétrole et de l'électricité à la fin du XIXe siècle. Cela permettra de moderniser les moyens de production. Les industries automobile et chimique en profiteront pleinement. Depuis, la machine de production n'est plus "vapeur", mais "électrique". Cette période correspond au taylorisme et à la mise en place du travail à la chaîne, qui rendait productif le travail non qualifié. On parle alors de production en série du même produit. On parle alors de production de masse sur la chaîne de production.



• 3EME REVOLUTION INDUSTRIELLE

Une troisième révolution s'est produite au milieu du XXe siècle avec l'avènement de l'électronique, des télécommunications et des ordinateurs. Ces différentes disciplines permettront de mettre en place une automatisation importante, soulageant les travailleurs des tâches les plus

difficiles. C'est le début de la robotique, de la flexibilité des outils de production et de la production de masse. Aussi, certains voient cette troisième révolution un peu plus tard, au début du XXI^e siècle. Il s'appuiera sur la transition énergétique (énergies renouvelables, bâtiments producteurs d'énergie et capacités de stockage d'énergie) ainsi que sur les technologies numériques. En effet, cela marque la fin de l'extraction des énergies fossiles (charbon, pétrole, etc.) et l'avènement des énergies propres (énergie solaire, air, eau). Enfin, l'une des caractéristiques importantes de la troisième révolution est le concept de mobilité (des biens et des personnes).



[51]

• 4EME REVOLUTION INDUSTRIELLE

Aujourd'hui, ce n'est plus une question de méthodes de production, il est possible de produire en masse (ou plutôt de reproduire) un produit des milliers de fois. Nous sommes entrés dans l'ère de la personnalisation des produits. Le consommateur veut un produit complètement personnalisé, différent de celui de son voisin. L'industrie 4.0 cherche à répondre à cette demande de produits uniques et individualisés tout en maintenant le même coût, mais en réduisant les volumes. C'est pourquoi l'un des défis de la quatrième révolution industrielle est de réussir à lier les besoins des clients à l'établissement de production. Ce lien ne peut s'établir sans l'apport des nouvelles technologies, qui doivent être exploitées dans cette « nouvelle usine ».



[51]

8.9 Annexe 4 : Technologies clés de l'industrie 4.0

Voici quelques-unes des technologies clés de l'Industrie 4.0 :

— Cloud Computing :

Le cloud computing est défini comme l'utilisation de services hébergés tels que le stockage de données, les serveurs, les bases de données, les réseaux et les logiciels sur Internet. Depuis la naissance du cloud computing, le monde a été témoin d'une explosion d'applications et de services informatiques basés sur le cloud, et celle-ci continue de se développer. En 2021, presque toutes les petites et grandes applications que nous utilisons résident dans le cloud, ce qui nous aide à économiser de l'espace de stockage, de l'argent et du temps.

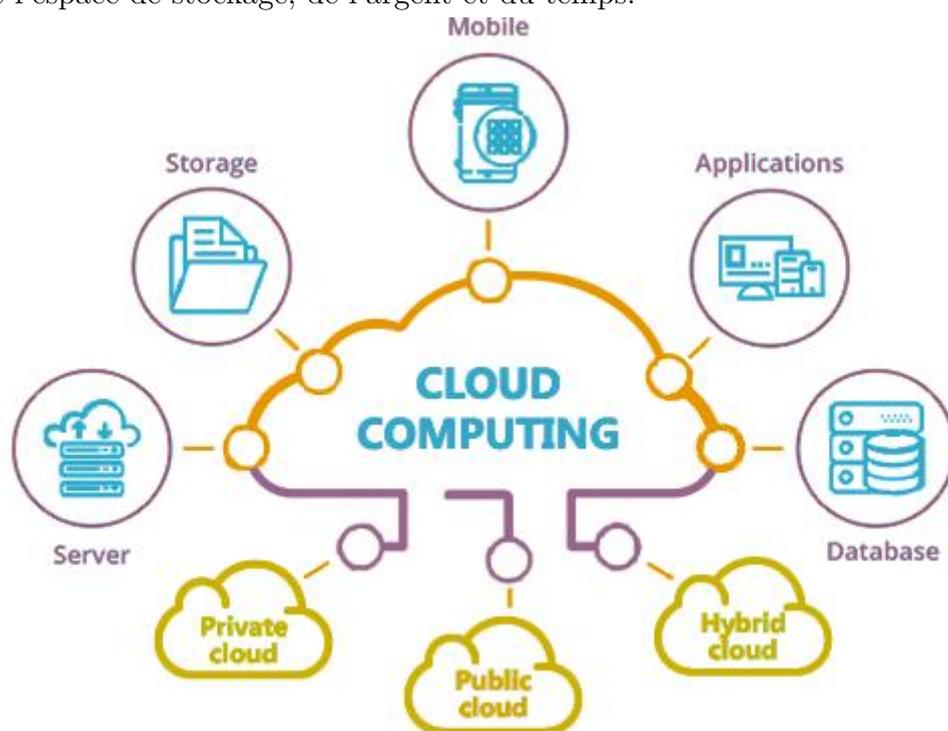


FIG. 8.38 – Sécurité des données en Cloud Computing[51].

— L'Internet des objets (IoT) :

Cette technologie permet aux objets physiques d'être connectés à internet et de communiquer entre eux. Dans l'industrie, cela permet de collecter des données en temps réel à partir de machines, de robots, de capteurs, etc. pour une analyse et une prise de décision plus rapides et plus précises.



FIG. 8.39 – Réalité Mixte.[51].

— La réalité augmentée (RA) et la réalité virtuelle (RV) :

Ces technologies permettent de visualiser des objets virtuels dans un environnement réel et vice versa. Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour former des employés, pour la maintenance prédictive et pour la conception de produits.



Figure 9 : Réalité Mixte.

FIG. 8.40 – Internet Of Things[51].

— L'intelligence artificielle (IA) et le machine learning (ML) :

Ces technologies permettent aux machines de prendre des décisions en utilisant des algorithmes complexes basés sur des données. Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour la maintenance prédictive, l'optimisation des processus de production, la surveillance de la qualité, etc.

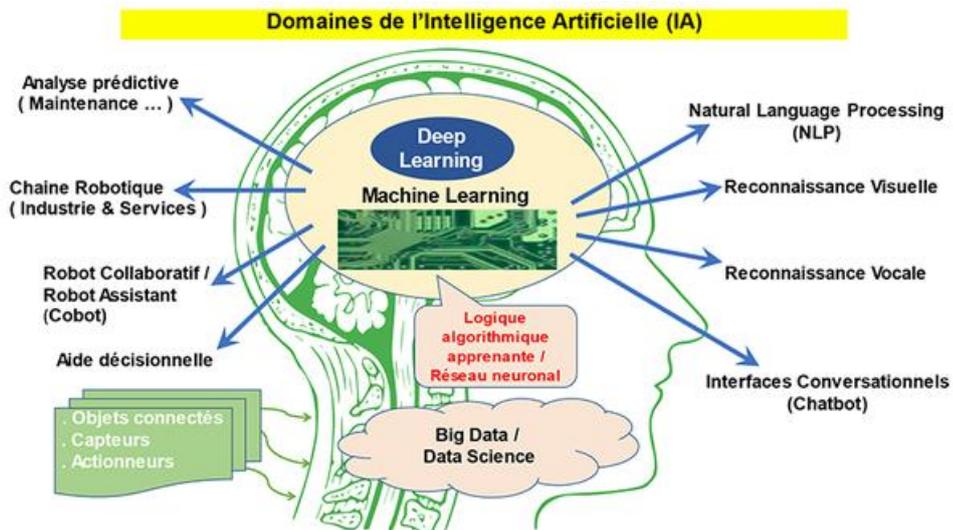


FIG. 8.41 – Domaines de IA[51].

— La fabrication additive :

Cette technologie, également connue sous le nom d'impression 3D, permet de produire des pièces en ajoutant des couches successives de matériaux. Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour la production de pièces de rechange, la fabrication de prototypes, etc.

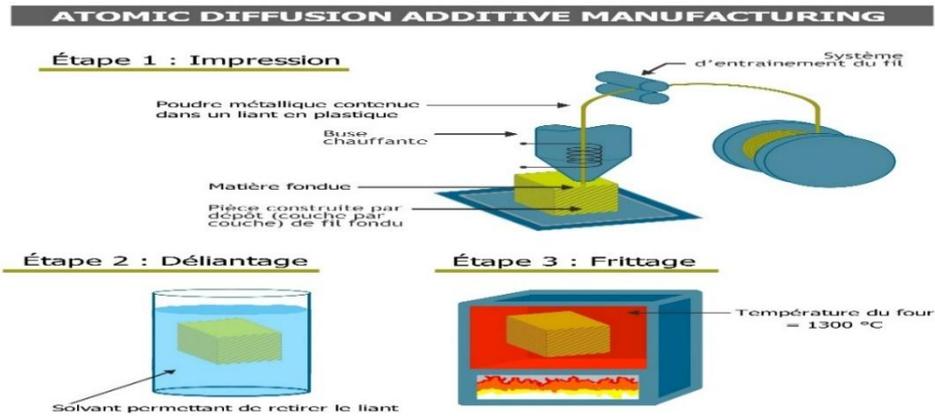


FIG. 8.42 – Atomic Diffusion Additive Manufacturing[51].

— **La robotique collaborative :**

Les robots collaboratifs, également connus sous le nom de cobots, sont des robots conçus pour travailler aux côtés des travailleurs humains. Dans l'industrie, cela peut être utilisé pour la manutention de matériaux, l'assemblage de pièces, la peinture, etc.



FIG. 8.43 – Robots Collaboratifs[51].

— **La cybersécurité :**

Comme les usines intelligentes sont de plus en plus connectées, la sécurité des données est devenue une préoccupation majeure. La cybersécurité est donc une technologie clé de l'Industrie 4.0 pour protéger les données de l'entreprise contre les cyberattaques.



FIG. 8.44 – Cybersécurité

Annexe V PRESENTATION DE LOGICIEL COSWIN 8I

Le logiciel COSWIN 8i dispose d'une option permettant de naviguer graphiquement pour trouver facilement et rapidement un équipement ou un sous-ensemble d'une machine pour effectuer des opérations tels que créer une demande d'intervention, consulter la liste des pièces...etc.

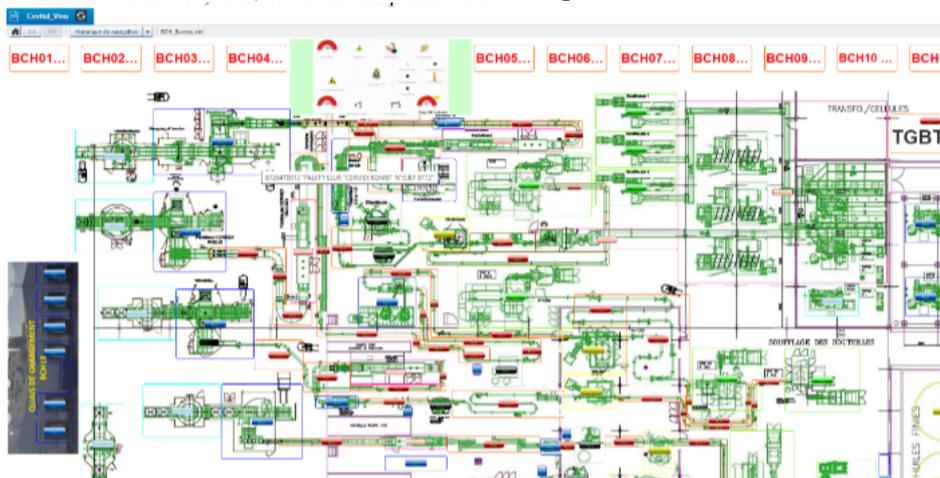


FIG. 8.45 – vision sur CEVITAL

*Il existe aussi des tableaux de bord (Cockpits) qui permettent de visualiser en temps réel les différentes activités liées à la maintenance (DI urgentes en attentes, les OT encours, les DR en attente de signature...etc.)



FIG. 8.46 – tableaux de bord

*Exemple d'un OT correctif :

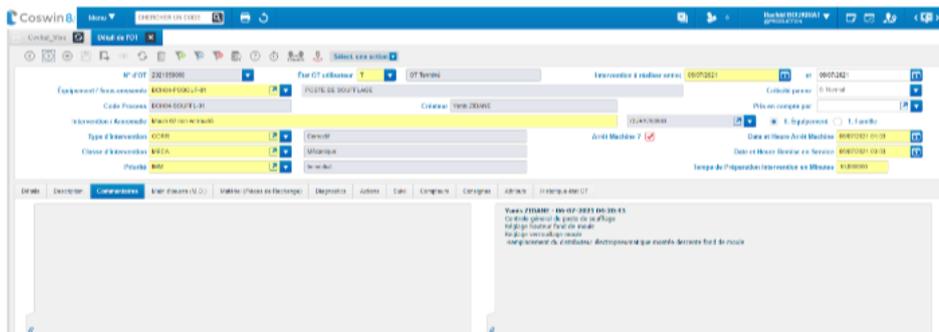


FIG. 8.47 – OT correctif

*Exemple d'un OT préventif :

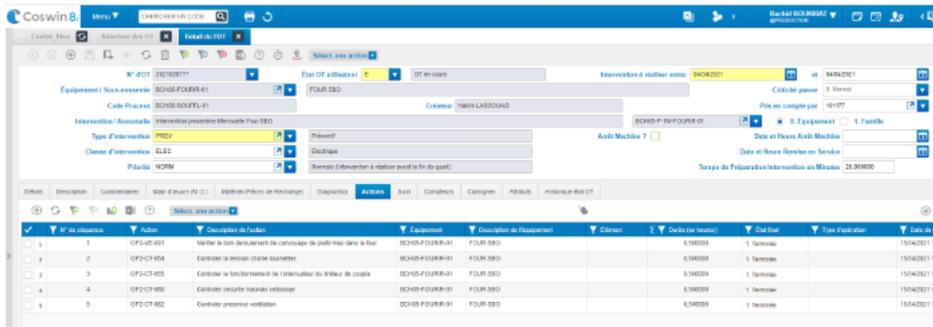


FIG. 8.48 – OT préventif

Bibliographie

- [1] URL : <https://www.cevital.com/cevital-agro-industrie/>.
- [2] URL : <https://www.google.com/maps/place/Cevital+Agroindustrie/>.
- [3] URL : <https://www.cevital-agro-industrie.com/fr/page/>.
- [4] URL : <https://www.router-switch.com/ws-c4507r-e-p-516.html/>.
- [5] URL : <https://www.visiativ-solutions.fr/industrie-4-0/>.
- [6] URL : [https://blog.knoldus.com/know-about-cloud-computing-architecture/..](https://blog.knoldus.com/know-about-cloud-computing-architecture/)
- [7] URL : <https://www.oracle.com/fr/artificial-intelligence/deep-learning-machine-learning-intelligence-artificielle.html>.
- [8] URL : <https://www.augmented-reality.fr/cest-quoi-la-realite-augmentee/>.
- [9] URL : <https://www.fabrication-additive.fr/fabrication-additive-processus>.
- [10] URL : <https://www.humarobotics.com/blog/la-robotique-collaborative/>.
- [11] URL : <https://opcfoundation.org/>.
- [12] URL : <https://www.iso.org/standard/27001>.
- [13] URL : <https://www.iec.ch/iec62443/>.
- [14] URL : [https://www.iso.org/standard/62085.html..](https://www.iso.org/standard/62085.html)
- [15] URL : <https://www.infoqualite.fr/les-5-niveaux-de-maintenance-industrielle/>.
- [16] URL : <http://www.mps-maintenance.fr/maintenance-predictive/>.
- [17] URL : <http://www.mps-maintenance.fr/maintenance-predictive/>.
- [18] URL : <https://www.getmaintainx.com/blog/how-to-create-a-work-order-system/>.
- [19] URL : <https://www.tribofilm.fr/les-differents-types-de-maintenance/>.
- [20] URL : <https://www.getmaintainx.com/blog/how-to-create-a-work-order-system/>.
- [21] URL : <https://www.getmaintainx.com/blog/how-to-create-a-work-order-system/>.
- [22] URL : https://www.utc.fr/tsibh/public/3abih/11/stage/kouassi/index.html#12_.
- [23] URL : <https://alegerglobal.com/fr/realite-augmentee/domaines-dapplication-maintenance/>.
- [24] URL : <http://www.mps-maintenance.fr/maintenance-predictive/>.
- [25] URL : <https://cloud.google.com/learn/what-is-predictive-analytics?hl=fr#:~:text=L%27analyse%20pr%C3%A9dictive%20consiste%20%C3%A0,de%20pr%C3%A9dire%20les%20comportements%20futurs..>
- [26] URL : [L'analyse prédictive : définition, fonctionnement et enjeux \(solutions - business - intelligence.fr\)..](L'analyse prédictive : définition, fonctionnement et enjeux (solutions - business - intelligence.fr)..)

- [27] URL : [https://dkt-group.cm/les-six-etapes-cles-de-lanalyse-predictive/..](https://dkt-group.cm/les-six-etapes-cles-de-lanalyse-predictive/)
- [28] URL : [ToutsavoirsurlalangagedeprogrammationPython - IASchool\(intelligence - artificielle-school.com\)](https://toutsavoirsurlalangagedeprogrammationpython.com/).
- [29] URL : [Python\(langage\)-Wikipédia\(wikipedia.org\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Python_(langage)).
- [30] URL : [WhatisPython?ExecutiveSummary|Python.org](https://python.org/whatispython?executive-summary).
- [31] URL : [Python\(langage\) : définitiondePython\(langage \) etsynonymesdePython\(langage \) \(français\)\(sensagent.com\)](https://www.synonymesdepython.com/).
- [32] URL : <https://research.google.com/colaboratory/faq.html?hl=fr>.
- [33] URL : [BienvenuedansColaboratory-Colaboratory\(google.com\)](https://www.google.com/colaboratory/).
- [34] URL : <https://www.router-switch.com/>.
- [35] URL : <https://www.router-switch.com/>.
- [36] URL : <http://www.ethernetip.org/>.
- [37] URL : <https://www.profibus.com/>.
- [38] URL : www.as-interface.net.
- [39] *Atzori, I., Iera, A., et Morabito, G. (2010). The internet of things : A survey. Computer networks, 54(15), 2787-2805.* URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010>..
- [40] *Blanchet, M. (2016). Industrie 4.0 : nouvelle donne industrielle, nouveau modèle économique. Géoéconomie, 82(5), 37-53.* <http://dx.doi.org/10.3917/geoec.082.0037>.
- [41] *Bloem, J., van Doorn, M., Duivesteyn, S., van Manen, T., van Ommeren, E., et Sachdeva, S. (2013). No more secrets with big data analytics. Groningen, Pays-Bas : Sogeti.*
- [42] *(BMBF), le ministère fédéral allemand de l'Éducation et de la Recherche. "Industrie 4.0 : Les enjeux technologiques et humains" . 2013.*
- [43] *Document délivré par l'organisme d'accueil Cevital Agro-industrie de l'entreprise.*
- [44] *[En ligne].*
- [45] *Garnache, S. (2019). Stratégies de mise en oeuvre de l'industrie 4.0 dans les petites et moyennes entreprises manufacturières québécoises. (Thèse de doctorat.*
- [46] *Gorecky, O., Schmitt, M., Loskyll, M., et Zühlke, D. (2014b). Human-machine- interaction in the industry 4.0 era 12th IEEE international conference on in dus trial informatics (INDIN), Porto Alegre, Brésil, 2014 (pp. 289-294) : IEEE. .*
- [47] *Gregor, S. (2002b). A theory of theories in information systems. Dans S. Gregor and D. Hart (Éds.),.*
- [48] *HASSANI, AMINA. "L'INDUSTRIE 4.0 ET LES FACTEURS CLÉS DE SUCCÈS DE PROJET" . UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES : MÉMOIRE PRÉSENTÉ COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA MAÎTRISE EN GESTION DE PROJET, Août 2020.*
- [49] *Hermann, M., Pentek, T., et Otto, B. (2016). Design principles for industrie 4.0 scenarios. Communication présentée 2016 49th Hawaii international conference on system sciences.*
- [50] *"Implementing Industrie 4.0: A Strategic Approach" (2017) par Jörg Bauer et al. .*
- [51] *Industrie 4.0 Pour une entreprise hautement concurrentielle (CGI).*
- [52] *La Data Analysis ou Analyse de Données (datascientest.com).*
- [53] *Malone, T. W. (1999). Is' empowerment'just a fad? Control, decision-making, and information technology. BT technology journal, 17(4), 141-144.*

- [54] *Nesrine, Azouz.* URL : https://www.researchgate.net/figure/Les-technologies-cles-de-lindustrie-40_fig6.
- [55] *Prozeßmeß- und Prüftechnik für Leiterplattenbaugruppen in SMD-Technik.* 1995-05 : s.n., 1995-05.
- [56] *Qu'est-ce que l'analyse de données ? | Glossaire | HPE Canada.*
- [57] *Qu'est-ce que l'analyse de données ? | Glossaire | HPE Canada.*
- [58] *Schwab, Klaus.* « *Industrie 4.0 : La quatrième révolution industrielle* ». 2016.
- [59] *Vaira, Thierry.* *Cours Réseaux Locaux Industriels.* La Salle Avignon : s.n.